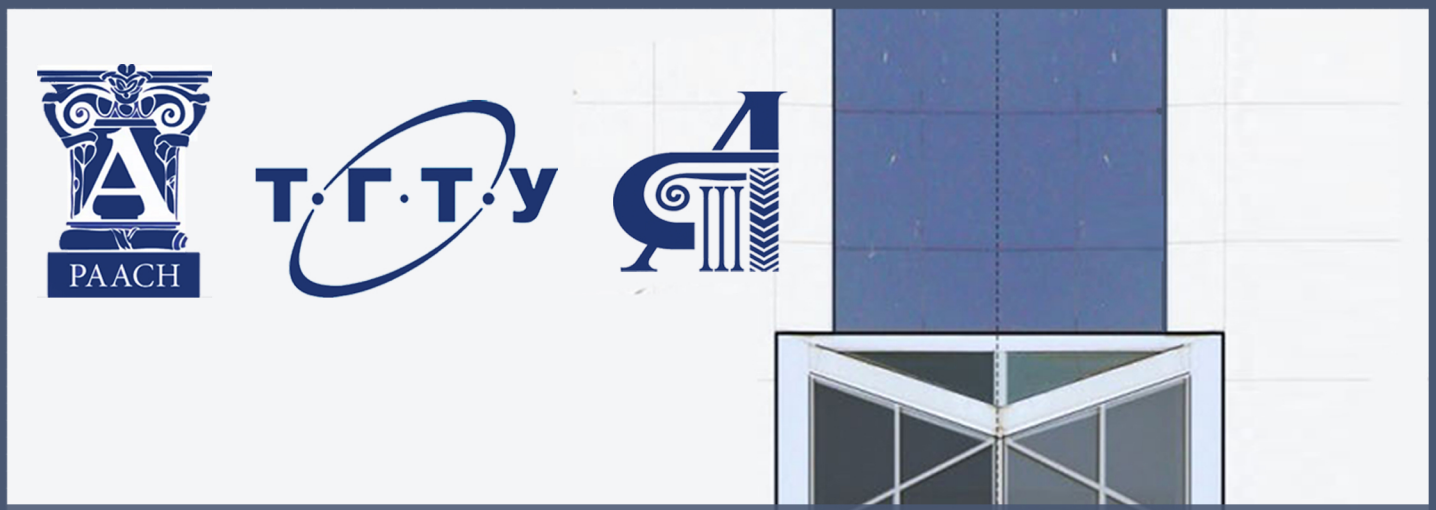


УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА: АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ

МАТЕРИАЛЫ

XII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

НАПРАВЛЕНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ БУДУЩЕГО



Тамбов, 21-22 мая 2026 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия архитектуры и строительных наук
Правительство Тамбовской области
Администрация города Тамбова
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА: АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ

Материалы
XII Международной научно-практической конференции

НАПРАВЛЕНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ БУДУЩЕГО»

Тамбов, 21–22 мая 2026 г.

Научное электронное издание

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2026

УДК 69
ББК 38
У81

Редакционная коллегия:

П. В. Монастырев (отв. редактор),
К. А. Андрианов, С. М. Ведищев, В. А. Гавриков, Т. Ф. Ельчищева, О. В. Умнова,
А. А. Мамонтов, С. А. Мамонтов, А. В. Милованов, Ю. Е. Глазков, А. А. Гуськов

У81 **Устойчивое развитие** региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы XII Международной научно-практической конференции. Направление конференции «Инновационные технологии строительного комплекса и транспортных систем будущего» / отв. ред. П. В. Монастырев ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2026. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium IV ; RAM 512 Mb ; необходимое место на HDD 32,0 Mb ; Windows 7/8/10/11 ; дисковод CD-ROM ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-3052-8

Представлены научные статьи ведущих российских и зарубежных ученых и специалистов, преподавателей, аспирантов, соискателей и студентов по основным научным направлениям конференции. Рассмотрены вопросы: архитектуры; градостроительства; дизайна; расчета строительных конструкций; геотехники и технологий возведения зданий; инженерных систем и энергоэффективности; строительных материалов и аддитивных технологий; проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог; реконструкции и реставрации зданий; автомобильного хозяйства и безопасности дорожного движения; транспортной логистики; агроинженерии; профессионального образования.

Материалы конференции могут быть полезны научным, инженерно-техническим работникам научно-исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателям, аспирантам, студентам вузов технического профиля.

Сборник статей входит в наукометрическую базу РИНЦ (eLibrary.ru).

УДК 69
ББК 38

Организаторы конференции и издательство не несут ответственности за материалы, опубликованные в сборнике. Все материалы даны в авторской редакции и отображают персональную позицию участника конференции.

Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-8265-3052-8

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Монастырев П.В., Колчунов В.И., Мамонтов А.А., Мамонтов С.А.
ОБ ОСНОВНЫХ ИТОГАХ XII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА: АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ» 12

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Попов Н.С., Толстых С.Г.
О КРАСОТЕ, ГАРМОНИИ И КОМПРОМИССЕ 19

Каприелов С.С.
ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ КЛАССОВ В50-В70 С УПРАВЛЯЕМЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ И ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ 34

Корсун В.И., Макаренко С.Ю.
К ИССЛЕДОВАНИЮ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ДВУХ- И ТРЕХОСНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЙ 40

Акулова И.И., Славчева Г.С.
ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ИНДИКАТОРЫ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ 43

Леденева Г.Л.
ТЕОРИЯ ПОКОЛЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАПРОСА НА ЖИЛЬЕ 48

СЕКЦИЯ 1. АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО В ЭПОХУ ЦИФРОВЫХ ИННОВАЦИЙ.
СЕКЦИЯ 2. СРЕДОВОЙ, ПРОМЫШЛЕННЫЙ И КОММУНИКАТИВНЫЙ ДИЗАЙН

Аметов Д.К., Леденева Г.Л.
СОВРЕМЕННАЯ ДЕРЕВНЯ В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ: ИСТОРИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ 55

Анюхина В.В., Золотухина Я.А., Куликов С.А.
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ МАЛЫХ ГОРОДОВ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ 60

Волкова Л.А., Финадеева Е.А.
АДАПТИВНЫЕ ОБЩЕСТВЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ 63

Гришова Т.А., Старкова Т.В., Овчинникова А.С., Уварова Е.А.
ИДЕАЛЬНЫЙ ГОРОД. КОНЦЕПЦИИ РАЗНЫХ ПЕРИОДОВ. ЧАСТЬ 1 67

Гришова Т.А., Старкова Т.В., Овчинникова А.С., Уварова Е.А.
ИДЕАЛЬНЫЙ ГОРОД. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕПЦИЙ РАЗНЫХ ПЕРИОДОВ НА СОВРЕМЕННОЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ЧАСТЬ 2 75

Гришова Т.А., Старкова Т.В., Овчинникова А.С., Уварова Е.А.
РОЛЬ СЕМЬИ САТИНЫХ В ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА ТАМБОВСКОЙ ГУБЕРНИИ 82

Гудков А.А., Яцко А.В.
ФОРМИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ УЗЛОВ И ИДЕНТИЧНОСТИ МЕСТА В ПРОЕКТАХ А.А. ВОЛОВИКА 89

Ельчищева Т.Ф., Вольнов Р.В.
КЛАССИФИКАЦИЯ КУПОЛОВ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ: ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КУПОЛОВ ХРАМОВ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ 96

Ельчищева Т.Ф., Кусова В.Д.
МАЛЫЕ РЕКИ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕПЦИИ ОБЛАСТНЫХ ЦЕНТРОВ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 99

Зокподо А.Э.Ш., Шашкова Т.И.
МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧРЕЖДЕНИЙ СОЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ПОЖИЛЫХ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА СПЕЦИФИКУ АФРИКАНСКОГО КОНТИНЕНТА 106

Казьмина А.И., Климчук С.А.
ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНО–ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА 109

Карасова И.Ю., Григорьева А.С.
АРХИТЕКТУРА ГЛЭМПИНГОВ ЗА ПОЛЯРНЫМ КРУГОМ: ИСКУССТВО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРЕДЕЛЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ 112

Карасова И.Ю., Петрова Е.В.
МУЗЕЙ-ЗАПОВЕДНИК С. В. РАХМАНИНОВА «ИВАНОВКА»: ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕСТАВРАЦИИ И СОХРАНЕНИИ УТРАЧЕННОГО 117

Крахина В.А., Росторгуев Н.Т.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В РЕГИОНЕ В КОНТЕКСТЕ БЕРЕЖЛИВОГО УПРАВЛЕНИЯ 122

Кузнецова Н.В., Т.А. Аль Едреси
ИСТОРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ЙЕМЕНЕ 127

Кузнецова Н.В., Т.А. Аль Едреси
ТУРИСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕН 129

Кузнецова Н.В., Кривова А.С.
ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ «АНСАМБЛЬ УСАДЬБЫ ЛАВРОВО С КОНЕЗАВОДОМ» 132

Кучер М.Д., Кокорина Е.В.
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ И СПОСОБЫ АДАПТАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ УСАДЕБНЫХ КОМПЛЕКСОВ 138

Максименко А.Е., Гончарук Д.А.
ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ БУДУЩЕГО ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ 143

Мамугина В.П., Киселева В.А., Никольский М.В.
ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ В АРХИТЕКТУРНО-ДИЗАЙНЕРСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ 148

Марченко В.С., Страшнова Ю.Г.
ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРИФЕРИЙНОГО ПОЯСА КРУПНЕЙШЕГО ПОЯСА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ 154

Матвеенко А.Д.
АРХИТЕКТУРНЫЕ АРХЕТИПЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ПОМОРСКОЙ КУЛЬТУРЫ 164

Прокшиц Е.Е., Белова В.П.
ИНТЕГРАЦИЯ ГИС-АНАЛИТИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ОБОСНОВАНИИ КОНЦЕПЦИЙ БЛАГОУСТРОЙСТВА ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ 170

Старкова Т.В., Гришова Т.А., Пехова К.С., Топильская У.С.
АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОСЕЛКОВ 176

Старкова Т.В., Евлахина А.Р., Перова Ю.А., Кудинова Т.С.
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГОРОДА МИРА: ЗАРОЖДЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ 185

Старкова Т.В., Мищенко Н.С.
АРХИТЕКТОР МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ КОРИНФСКИЙ: ТВОРЧЕСТВО И ЖИЗНЕННЫЙ ПУТЬ ЗОДЧЕГО 188

Фролова Е.В., Бирюкова А.Д.
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА: ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕГРАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ 191

Яковенко Н.Е., Климчук С.А.
ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ВЫБОР АРХИТЕКТУРНОГО РЕШЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЮБК, ОПИРАЯСЬ НА ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ 195

Яковенко Н.Е, Кравченко Л.В.
ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ: ТЕНДЕНЦИЯ ИЛИ НЕОБХОДИМОСТЬ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ 200

Яковенко Н.Е, Никулин И.А., Аппазова Э.С.
ФОРМИРОВАНИЕ «ЗЕЛЕНОГО КАРКАСА» ПРИМОРСКИХ КУРОРТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАК ФАКТОР КЛИМАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И КОМФОРТА РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН 206

СЕКЦИЯ 3. СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ГЕОТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ

Акимов В.А.
ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД РАЗЛОЖЕНИЯ ВЫСОКОСТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ В РЯД ФУРЬЕ 210

Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И., Матвеева И.В.
ЧАСТОТНОЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ УСРЕДНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ЗВУКА, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВЫХ МЕТОДОВ 214

Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Жидков В.К., Харитонов К.А.
ШПАЛЫ ДЛЯ ТРАМВАЙНЫХ ПУТЕЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ 220

Вахитов А.Р.
НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ МАЧТ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО НИВЕЛИРА 225

Волокитин П.С., Симонов Е.Р.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРЕКРЫТИЯ ПЕРВОГО ЭТАЖА ЗДАНИЯ БЛОКА ШКОЛЫ НА ОСНОВАНИИ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КАРАСА ЗДАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ САПР С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ ОСНОВАНИЯ И БЕЗ ЕЕ УЧЕТА 229

Волокитин П.С., Симонов Е.Р.
КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЕРХНЕГО РЯДОВОГО И ОПОРНОГО УЗЛОВ ФЕРМЫ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЯ ШКОЛЫ В ПК IDEA STATICA 24.0 234

Горденков К.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ МНОГОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ РАМНО-СВЯЗЕВОЙ СХЕМЫ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 239

Горденков К.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ МНОГОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ РАМНО-СВЯЗЕВОЙ СХЕМЫ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 244

Горденков К.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ МНОГОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ РАМНО-СВЯЗЕВОЙ СХЕМЫ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ 250

Гребнев П.А.
ГРАНИЦЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК ННГАСУ) 257

Жоголева О.А., Матвеева И.В.
К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ ШУМОВОГО РЕЖИМА И РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШУМОЗАЩИТЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ИМПУЛЬСНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЗВУКА 261

Казанцева В.В., Фролова Е.В.
АКТУАЛЬНОСТЬ И НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЕ ВРЕМЯ 265

Кокоев М.Н., Казиев В.М.
РАСЧЕТ АНКЕРНЫХ ШПУНТОВЫХ СТЕНОК В УСЛОВИХ СЛОЖИВШЕЙСЯ ЗАСТРОЙКИ 271

Копылов С.С., Антонов В.М.
ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСИТКИ ОСНОВАНИЯ, АРМИРОВАННОГО ЛИСТАМИ ИЗ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА 276

Косульников М.В., Грунтовская А.С., Краев А.Н.
ОСНОВНЫЕ РИСКИ ДЛЯ ФУНДАМЕНТОВ РВС В КРИОЛИТОЗОНЕ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ 282

Струлев С.А., Кузнецова А.П.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И РАЗВИТИЯ ОБЛАКОВ ТОЧЕК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ 286

Левченко А.В., Алджанаби Шрф Аль Дин Хуссейн Оливи, Каракчи-Огли Д. Р.
МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ 3D-ПЕЧАТНОГО КОМПОЗИТА ПРИ СЖАТИИ 291

Маркин И.А., Умнова О.В.
ВОПРОСЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СТАЛЬНЫХ РАМ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ ... 293

Россоль Д.Ю.
УЧЁТ ПОПРАВКИ НА МОКРЫЙ ПЕСЧАНЫЙ ГРУНТ В РАСЧЁТЕ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ .. 295

Россоль Д.Ю., Пегин П.А.
ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАБИОННОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ ПРИ НЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 300

Смирнова В.Е.
ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В BIM-СРЕДЕ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ 3D-ПЕЧАТИ 305

Смирнова В.Е.
АРХИТЕКТУРНАЯ ТЕКТОНИКА И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ S-ОБРАЗНЫХ ЗДАНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ МЕТОДОМ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ 308

Смирнова В.Е.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМАТОВ ДАННЫХ IFC И STL В ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ 312

Худяков А.В., Бин Альшк Амар Маджед Абдулла Саид, Федотов С.В.
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРУГЛОГО ШТАМПА И ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ СО СЖИМАЕМЫМ СЛОЕМ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ 315

Худяков А.В., Шарова Т.А., Буланова В.А.
ТОНКОСТЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ: ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ПРЕИМУЩЕСТВА 318

Шевкопляс И.Е., Жоголева О.А., Матвеева И.В.
ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПЕРЕКРЫТИЙ И СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ИХ ЗАМЕНЕ В ЗДАНИЯХ ИСТОРИЧЕСКОЙ ПОСТРОЙКИ 321

СЕКЦИЯ 4. ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Авдашин В.С., Кузнецова Н.В.
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ: ПРИНЦИПЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ТРЕНДЫ 325

Алексеева О.В., Галаган Н.А.
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ 329

Васильев Г.П., Дмитриев А.Н., Горнов В.Ф., Колесова М.В., Лесков В.А.
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ СНЕГОТАЯНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ г. МОСКВЫ 333

Ефимова С.В.
РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСОВ ПРОКЛАДКИ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИИ СТЕСНЕННОСТИ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ 337

Кочев А.Г., Соколов М.М., Кондратюк А.О.
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКТОВ ОТХОДЯЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ГАЗОВ КАК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ 341

Максимова Н.А., Кляус Б.В.
КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОДИНАМИКИ ВЫТЯЖНЫХ ЗОНТОВ: ОТ АНАЛИЗА РАСЧЕТНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ К ВНЕДРЕНИЮ ВИХРЕВЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ 345

Махотлова М.Ш., Кокоев М.Н., Казиев В.М.
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ 351

Михайлов А.И., Ткач Л.В.
АНАЛИЗ СОСТАВА ПЫЛЕГАЗОВОЙ СМЕСИ ОТ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ 357

Сусликова Е.В.
ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ СЕРЕДИНЫ XX ВЕКА 360

Сусликова Е.В.
КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ 364

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А.
ЭНЕРГО- И ЭКОЛОГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФОРМАТЕ ТЕПЛОНАСОНЫХ СИСТЕМ С АНАЛОГО-ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ 368

Федотов А.А., Соколов М.М., Кочев А.Г.
ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ИНТЕГРАЦИИ С СИСТЕМАМИ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ РОССИИ: АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ 372

СЕКЦИЯ 5. ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Артамонова О.В., Закатов А.Б.
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ..... 377

Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Ярцев В.П., Жидков В.К.
ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕМОНТЕ ГОРОДСКИХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ..... 380

Варламов А.А.
ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ДЕГРАДАЦИИ 386

Воронова Н.П., Березовский Н.И., Павлович Д.В., Романов С.И.
РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ..... 392

Голубева Е.А., Волкова Д.С.
КОНЦЕПЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ (FE-SMA) НА ЭВОЛЮЦИЮ БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ СТАЛЬНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ... 394

Киселева О.А., Никулина А.Э.
ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ВО ВНУТРЕННЮЮ ОТДЕЛКУ ПОМЕЩЕНИЙ 398

Колесников К.С., Зубков А.Ф.
ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИТЫХ СМЕСЕЙ..... 401

Майер Р.А., Шангина Н.Н., Харитонов А.М.
ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ШТУКАТУРНОЙ ОТДЕЛКИ ФАСАДОВ КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ 404

Макеев А.И.
КОНЦЕНТРАЦИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРУКТУРЕ КОНГЛОМЕРАТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ..... 411

Малюк В.В., Малюк В.Д., Вавренюк С.В., Строкин К.Б.
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ МОРОЗОСОЛЕСТОЙКОСТИ БЕТОНА В ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СРЕДЕ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ 416

Мельников Д.С., Албо Джасим Ахмед Хаззаа Ибрахим
ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО УВЛАЖНЕНИЯ-ВЫСЫХАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ..... 424

Ремнёв В.В., Вибе П.А.
ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ С ВКЛЮЧЕНИЕМ БАРИТА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА..... 430

Славчева Г.С., Артамонова О.В., Шведова М.А.
УПРАВЛЕНИЕ КИНЕТИКОЙ РАННЕГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ..... 435

Харитонов А.М., Малащенко Е.В.
КРИТЕРИИ ПОДБОРА ЦЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ 440

Чурсин Е.В.
ЗАВИСИМОСТЬ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУШНЫХ ПУСТОТ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БИТУМА В АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ..... 443

СЕКЦИЯ 6. ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Бутримов Е.А., Зубков А.Ф., Чекалов Р.А.
МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ 448

Власов Д.М., Андрианов К.А.
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 451

Пустотин М.Н., Андрианов К.А.
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ 455

Бондарев Б.А., Бондарев А.Б., Ярцев В.П., Жидков В.К.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ 460

Водолажченко А.Г., Даценко В.М.
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ 466

Воронцов И.И., Середа В.О.
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ОПТИМИЗАЦИИ КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ 471

Голов Е.В., Красногорцева Е.Д.
ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАТС 478

Доровских Д.В., Доровских Н.Д.
ОБЗОР МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 482

Доровских Д.В., Доровских Н.Д.
УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННОЙ СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ 489

Жоголева О.А., Манухин М.С.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГРАНИЦАХ УЛИЦ ПРОЛЕТАРСКАЯ И АСТРАХАНСКАЯ В г. ТАМБОВЕ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ ОДНОСТОРОННЕГО ДВИЖЕНИЯ 495

Зеленин Г.В., Лукин В.А.
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИДОРОЖНОГО СЕРВИСА 499

Макаров А.М., Ермаков К.И.
О НЕОБОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ В ГОРОДСКОЙ ЧЕРТЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ 502

Сазанчук Э.П., Чернявская С.В.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРИВЫХ БЕЗЬЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 508

Снигаренко В.В., Урханова Л.А.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО ВОДООТВОДА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ 512

Степакин В.Р.
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ТРАНСМИССИИ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЫ В ГОРОДСКОМ ЦИКЛЕ ДВИЖЕНИЯ 515

Сычев Е.А., Матвеева И.В.
ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 520

Татаринцева А.С., Гавриков В.А.
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УСЛУГ ПО ПЕРЕВОЗКЕ ЖИВОТНЫХ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ В ЭКСПЕДИЦИОННУЮ ГРУППУ ВЕТЕРИНАРНЫХ СОТРУДНИКОВ 525

Филиппова Р.В., Феньков И.А.
УСЛОВИЯ, НАПРАВЛЕНИЯ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ 530

Финадеева Е.А.
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРАНИЦ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗРАСТАНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ 537

Хамченков М.Д., Воронцов И.И.
МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ САМОСВАЛОВ ПРИ РАБОТЕ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОПЛИВАХ 543

Челтыбашев А.А., Баринов А.С.
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДА МУРМАНСКА 550

СЕКЦИЯ 7. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Александрова А.А., Сенько Д.Е., Носков А.Д.
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ 555

Вотановский К.Д., Брусенков Н.А., Брусенков А.В.
ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДРЕССОРИВАНИЯ КАБИН АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ 558

Катаев И.Х., Сапрыкин А.И., Павлов А.Г.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ ПЕРВИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА 562

Матвеев А.А., Глазков Ю.Е., Глазков В.Ю., Букина М.А., Букина А.А.
АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ КОНСЕРВАНТОВ 565

Никишин С.А.
РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 1.4 ЗА СЧЕТ АГРЕГАТИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНЫМ УСТРОЙСТВОМ СО СМЕННЫМИ АГРЕГАТАМИ 571

Обляк В.В., Ведищев С.М.
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕШИВАНИЯ СУХИХ РАССЫПНЫХ ТЕРМОСМЕСЕЙ 578

Павлов А.Г., Прохоров А.В., Пруцков А.А.
ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ЦЕНТРАЛЬНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ И ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ В 1998–2024 гг. 581

Павлов А.Г., Прохоров А.В., Пруцков А.А.
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ КОРНЕВЫКАПЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ СВЕКЛОУБОРОЧНЫХ МАШИН 588

Павлов А.Г., Прохоров А.В., Пруцков А.А.
АНАЛИЗ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ САХАРНОЙ СВЁКЛЫ И ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАШИН С ДИСКОВЫМИ ВЫКАПЫВАЮЩИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ 593

Пахомкин А.А., Брусенков Н.А., Брусенков А.В.
ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НАКОПИТЕЛЕЙ-ПИТАТЕЛЕЙ КОРНЕЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ 601

Пахомкин А.А., Брусенков Н.А., Брусенков А.В.
ОБОСНОВАНИЕ ВМЕСТИМОСТИ БУНКЕРА НАКОПИТЕЛЯ-ПИТАТЕЛЯ КОРНЕЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ 606

Поликарпов А.А., Катаев И.Х., Павлов А.Г.
ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОЧНЫХ ЕМКОСТЕЙ МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОГО РАСПЫЛЕНИЯ УЛЬТРАМАЛОГО ОБЪЕМА РЕАГЕНТОВ И ОЗОНИРОВАНИЯ 610

Поликарпов А.А., Катаев И.Х., Павлов А.Г.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДГЕЗИИ МОЛОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И КИНЕТИКА ОСАЖДЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ ПРИ МОЙКЕ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЕМКОСТЕЙ 613

Терехов А.А., Прохоров А.В., Ведищев С.М., Хольшев Н.В., Сантурян О.В.
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ СЫПУЧИХ КОРМОВ В УСЛОВИЯХ КФХ 616

Хамза Ф., Борщев В.Я.
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ALTAIR EDEM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (DEM) ... 618

Щербашин В.Р., Кубасов В.Г., Прохоров А.В.
КОРРОЗИОННОЕ И КАВИТАЦИОННО-ЭРОЗИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ДЕТАЛИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС: НОРМАТИВНАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА 622

Щербашин В.Р., Кубасов В.Г., Прохоров А.В.
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 625

Щербашин В.Р., Кубасов В.Г., Прохоров А.В.
НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОХЛАЖДАЮЩИМ ЖИДКОСТЯМ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАНАХ СНГ 628

СЕКЦИЯ 8. ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕС КОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Монастырев П.В., Гуськов А.А.
ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ СРЕДУ ИНСТИТУТА АРХИТЕКТУРЫ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ТРАНСПОРТА ТГТУ 632

Назим Я.В., Чернышева О.А., Крысько А.А., Чиркин А.В.
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ДОННАСА – ФИЛИАЛА НИУ МГСУ 642

Гавриков В.А., Зеленин Г.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВОСПИТАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ СТУДЕНТОВ ТГТУ: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 648

УДК 72.69.656
67.01 Общие вопросы строительства и архитектуры

ОБ ОСНОВНЫХ ИТОГАХ XII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА: АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ»

Монастырев Павел Владиславович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», член-корреспондент РААСН, директор Института архитектуры, строительства и транспорта, доктор технических наук, профессор
e-mail: monastyrev68@mail.ru

Колчунов Виталий Иванович
Председатель Центрального территориального отделения РААСН, академик РААСН, доктор технических наук, профессор
e-mail: asiorel@mail.ru

Мамонтов Александр Александрович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «КЗиС»
e-mail: sansanich1409@yandex.ru

Мамонтов Семен Александрович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «КЗиС»
e-mail: kardinal61@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются ключевые итоги XII Международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт», состоявшейся 21-22 мая 2026 года в г. Тамбове на базе Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ) под эгидой Российской академии архитектуры и строительных наук и администраций Тамбовской области и г. Тамбова. Основная тематика конференции сфокусирована на инновационных технологиях строительного комплекса и транспортных систем будущего. Приводится статистика участия, результаты работы восьми научных секций, итоги специализированного семинара по строительной акустике и опыт соучаствующего проектирования городских пространств.

Ключевые слова: устойчивое развитие; РААСН; ТГТУ; строительный комплекс; строительная акустика; математическое моделирование; соучаствующее проектирование; транспортные системы; архитектурное наследие; инженерное образование.

Статистика и география конференции. XII Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт» стала масштабным событием, объединившим представителей академической науки, высшей школы и производственного сектора. Данная конференция проводится на базе ТГТУ с 2014 года [1-5]. за этот время университет утвердился в статусе постоянной площадки для экспертного обсуждения проблем в области архитектуры, строительства и транспорта. Высокие организационные компетенции вуза подтверждаются успешным опытом проведения знаковых федеральных и международных мероприятий, таких как Общее собрание и научная сессия Центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук, приуроченные к 20-летию РААСН, XXX Международный смотр-конкурс лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству [6] и VIII Международный симпозиум РААСН «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» [7, 8]. Признание университета как центра координации профессионального сообщества обеспечило широкое представительство участников текущей конференции. В ее работе приняли участие делегаты из 22 городов России и Республики Беларусь, представляющие 16 ведущих профильных вузов. В адрес оргкомитета было направлено более 100 научных работ.

Пленарное заседание: стратегические приоритеты. Открыл конференцию ректор НИУ МГСУ, вице-президент РААСН по направлению «Фундаментальные научные исследования», академик РААСН Акимов Павел Алексеевич (фото 1). В своем приветствии он подчеркнул, что Тамбовская школа ТГТУ

традиционно является центром притяжения для исследователей в области надежности конструкций, материаловедения и строительной физики.



Фотография 1 – Видеообращение ректора НИУ МГСУ, вице-президента РААСН по направлению «Фундаментальные научные исследования», академика РААСН Акимова Павла Алексеевича к участникам конференции.

С приветственными словами к участникам конференции обратились: и.о. министра градостроительства и архитектуры Тамбовской области Пчегатлук Анзор Аюбович; и.о. министра государственного жилищного, строительного и технического контроля (надзора) Тамбовской области Мамонтов Андрей Александрович; академик РААСН, профессор кафедры технологий и организации строительного производства НИУ МГСУ Федосов Сергей Викторович; генеральный директор Ассоциации СРО «Тамбовские строители» Сумин Андрей Анатольевич (фото 2).

а)



б)



в)



Фотография 2 – Приветственные слова: а) И.о. министра государственного жилищного, строительного и технического контроля (надзора) Тамбовской области Мамонтов Андрей Александрович; б) Генеральный директор Ассоциации СРО «Тамбовские строители» Сумин Андрей Анатольевич в) Профессор кафедры технологий и организации строительного производства НИУ МГСУ Федосов Сергей Викторович.

В приветствиях почетных гостей центральной темой стало взаимодействие администрации, научного сообщества и реального сектора. А. А. Пчегатлук и А. А. Мамонтов отметили приоритетность научного сопровождения региональной градостроительной политики и необходимость внедрения цифровых инструментов технадзора для обеспечения качества и долговечности жилищного фонда.

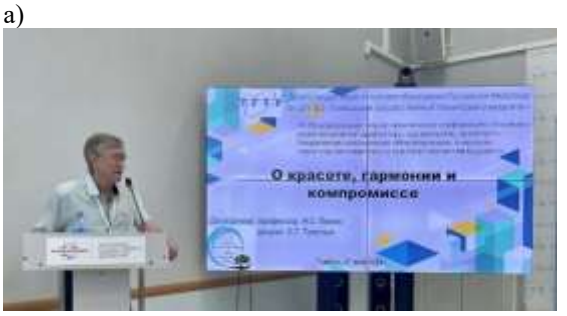
Академик РААСН С. В. Федосов, вспомнив о многолетнем сотрудничестве с ТГТУ, высказался за развитие межвузовских проектов и прямой трансфер фундаментальных разработок в строительную практику. Эту позицию поддержал А. А. Сумин, подтвердив готовность СРО «Тамбовские строители» стать площадкой для апробации инновационных решений. Он подчеркнул, что технологическое развитие отрасли сегодня определяется эффективной связкой исследователей, проектировщиков и производителей.

Модераторами пленарной части выступили: первый проректор ТГТУ, член Общественной палаты Российской Федерации, профессор Наталия Вячеславовна Молоткова; председатель Центрального территориального отделения РААСН, академик РААСН, профессор Виталий Иванович Колчунов; член-корреспондент РААСН, директор Института архитекутры, строительства и транспорта ТГТУ Павел Владиславович Монастырев (фото 1 и фото 2 в).

В пленарной части было представлено 5 докладов (фото 3):

- «О красоте, гармонии и компромиссе» (докладчики - профессор Н. С. Попов и доцент С. В. Толстых, ТГТУ, г. Тамбов);

а)



б)



в)



г)



д)



Фотография 3 – Пленарные доклады: а) Н. С. Попов, профессор ТГТУ, Тамбов; б) С. С. Каприелов, академик РААСН, НИИЖБ им. А. А. Гвоздева НИЦ «Строительство», г. Москва в) В. И. Корсун, профессор СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург; г) И. И. Акулова, профессор ВГТУ, г. Воронеж; д) Г. Л. Леденева, профессор ТГТУ, г. Тамбов.

- «Высокопрочные легкие бетоны классов В50-В70 плотностью 1800-1950 кг/м^3 с управляемыми деформационными характеристиками» (докладчик - академик РААСН С. С. Каприелов, НИИЖБ им. А. А. Гвоздева НИЦ «Строительство», г. Москва);

- «Влияние уровня нагружения на деформации ползучести бетона в условиях двух- и трехосных напряженных состояний» (докладчики - профессор В. И. Корсун (СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург) и С. Ю. Макаренко (филиал НИУ МГСУ, г. Макеевка, ДНР));

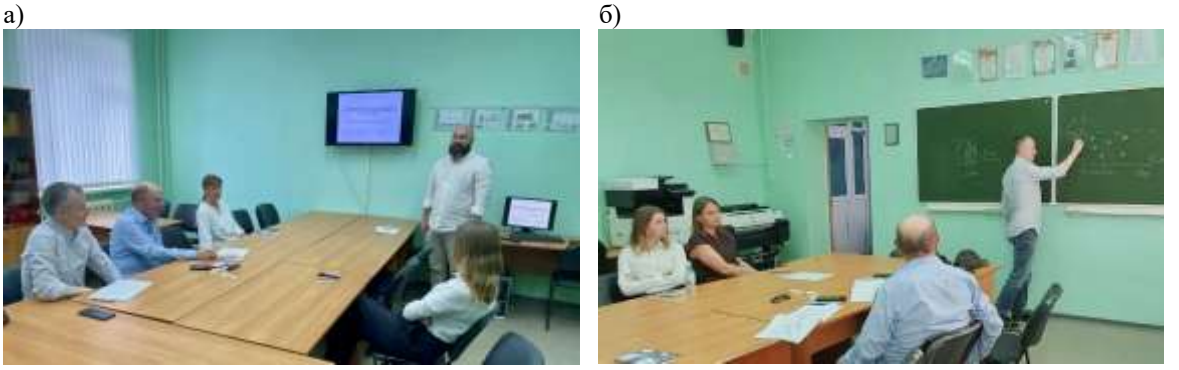
- «Инновационный потенциал предприятия промышленности строительных материалов: индикаторы и методика оценки» (докладчики — профессор И. И. Акулова и профессор Г. С. Славчева, ВГТУ, г. Воронеж);

- «Теория поколений в формировании запроса на жилье» (докладчик — профессор Г. Л. Леденева, ТГТУ, г. Тамбов).

Научная программа пленарной сессии фактически представила комплексный взгляд на создание строительных объектов: от архитектурного замысла и учета социальных запросов жителей до фундаментальных расчетов в строительной механике и материаловедении. Важным итогом обсуждения стал акцент на управленческих инструментах - методиках оценки инновационной готовности предприятий. Именно такой подход позволяет перевести перспективные лабораторные исследования в плоскость реального промышленного производства в масштабах всей страны.

Научный семинар: прикладные аспекты строительной акустики. Программу первого дня конференции дополнил специализированный научный семинар по строительной акустике. Встреча стала площадкой для профессионального обмена между представителями тамбовской и нижегородской научных школ. Модераторами семинара выступили советники РААСН: профессор ТГТУ В. И. Леденев и профессор ННГАСУ Д. В. Монич (фото 4).

а) б)



Фотография 4 – Работа специализированного научного семинара по строительной акустике: а) Д. В. Монич, В. И. Леденев, И.В. Матвеева, П. А. Гребнев и Т. С. Яровая; б) Т. С. Яровая, О. А. Жоголева, Д. В. Монич и В. И. Леденев.

Основная дискуссия сосредоточилась на вопросах внедрения математических моделей звуковых полей в практику проектирования изоляции ограждающих конструкций. Совместная работа специалистов позволила детализировать алгоритмы перехода от теоретических расчетов к прикладным проектным решениям. Участники подтвердили, что обеспечение нормативных параметров шумового режима и создание акустического комфорта являются одними из целевых показателей устойчивого развития региональных территорий.

Работа научных секций: междисциплинарный охват. Второй день конференции был посвящен углубленной работе в рамках восьми тематических секций, охвативших весь жизненный цикл объектов капитального строительства и транспорта (фото 5).

Научное содержание конференции наиболее полно раскрылось в ходе секционных заседаний. Представленный ниже обзор позволяет оценить, как широту научной тематики, так и высокий уровень экспертного руководства каждой из площадок.

Секции № 1 «Архитектура и градостроительство в эпоху цифровых инноваций» и № 2 «Средовой, промышленный и коммуникативный дизайн». Модераторами выступили заведующая кафедрой «Архитектура и градостроительство» ТГТУ Т. Ф. Ельчищева и доцент Н. В. Кузнецова. Участники обсудили широкий спектр тем: от формирования градостроительных узлов и идентичности места до специфики проектирования для экстремальных климатических условий (Арктика, Африканский континент) и цифровой трансформации генеральных планов.

а)



б)



в)



г)



Фотография 5 – Секционная работа конференции: а) секция № 1;
б) секция № 3; в) секция № 4; г) секция № 5.

Секция № 3 «Современные строительные конструкции, геотехника и технологии возведения зданий». Работу возглавили заведующий кафедрой архитектуры ННГАСУ, советник РААСН Д. В. Монич (г. Нижний Новгород) и профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» (ГСиАД) ТГТУ, советник РААСН В. И. Леденев. Дискуссия была сосредоточена на расчетах сложных конструктивных систем, механическом поведении 3D-печатных композитов и вопросах взаимодействия стальных рам с грунтовым основанием.

Секция № 4 «Инженерные системы жизнеобеспечения, энергоэффективность и экологическая безопасность». Под руководством директора Института «АрхСиТ» ТГТУ, чл.-корр. РААСН П. В. Монастырева и заведующего кафедрой «ГСиАД» К. А. Андрианова эксперты проанализировали опыт использования альтернативных источников энергии и внедрения энергосберегающих технологий, включая геотермальные тепловые насосы для культовых сооружений.

Секция № 5 «Высокотехнологичные строительные материалы и аддитивные технологии». Модераторы — профессор ТГТУ, советник РААСН В. П. Ярцев и профессор ВГТУ И. И. Акулова (г. Воронеж). В центре внимания оказались вопросы наномодифицирования цементных систем, разработка рациональных режимов производства асфальтобетонных смесей и критерии подбора составов для строительной 3D-печати.

Секция № 6 «Инновационное развитие транспортных систем и дорожной инфраструктуры». Работу секции модерировали профессор ТГТУ А. Ф. Зубков и доцент В. А. Гавриков. Обсуждались вопросы цифровизации управления городским пассажирским транспортом, методы оценки износа автомобильных дорог и перспективы использования автономных транспортных систем в мегаполисах.

Секция № 7 «Перспективные технологии и технические системы в агропромышленном комплексе». Модераторами выступили академик РАН А. И. Завражнов (Мичуринский ГАУ) и заведующий кафедрой «Агроинженерия» ТГТУ С. М. Ведищев. В рамках секции рассматривались вопросы развития современных технологий механизации в АПК.

Секция № 8 «Трансформация инженерного образования в условиях цифровизации и технологического суверенитета». Модераторы — зам. директора Института «АрхСиТ» Г. В. Зеленин и доцент В. П. Мамугина. Ключевой темой стало внедрение искусственного интеллекта в образовательную среду и поддержка технологических студенческих стартапов в рамках федеральных программ.

По мнению экспертов РААСН, такой детализированный подход и привлечение модераторов из разных научных школ позволили превратить секционную работу конференции в эффективный инструмент формирования научно-технической повестки регионального развития.

Программа второго дня включала сессию соучаствующего проектирования, организованную на базе «Точки кипения» ТГТУ. Вниманию участников была представлена концепция благоустройства набережной Бокинских прудов (общая площадь — 10,9 га), разработанная с применением методологии вовлечения жителей, студенческих проектных групп и профессионального сообщества (фото 6).

Методологической основой представленной концепции стал многолетний опыт ТГТУ по системному вовлечению студентов в решение социально-экономических задач региона, признанный эффективным инструментом управления качеством подготовки кадров [9–11].

Сформированное проектное решение набережной ориентировано на создание единого рекреационного каркаса, обеспечивающего функциональную связность города Тамбова и поселка Строитель. В ходе дискуссии эксперты проанализировали методы ревитализации прибрежных зон и приемы интеграции малых архитектурных форм для формирования идентичности пригородных территорий. Представленное решение стало примером практической апробации принципов устойчивого развития при проектировании инженерно-транспортной и пешеходной инфраструктуры на границе городской застройки.

а) б)



Фотография 6 – Сессия соучаствующего проектирования благоустройства набережной Бокинских прудов в г. Тамбове: а) доклад Б. Н. Аверочкина; б) обсуждение проекта (П. В. Монастырев).

Архитектурное наследие. Программа мероприятий предусматривала натурное ознакомление с объектами гражданского и церковного зодчества Тамбова XVIII–XIX веков. Участники проанализировали практические приемы реставрации и возможности функционального приспособления памятников к актуальным условиям эксплуатации. Историческая среда рассматривалась как целостный градостроительный ансамбль, сохранение которого необходимо для обеспечения планировочной преемственности и поддержания архитектурной идентичности региона при развитии городских территорий.

Итоги конференции. Конференция позволила произвести оценку современного состояния региональной науки и практики в сфере архитектуры, строительства и транспорта с учетом их ретроспективного анализа и прогнозирования инновационного развития до 2035 года.

Организационный и Программный комитеты конференции убеждены в несомненной ценности обмена мнениями представителей академического сообщества, бизнеса и органов власти, который проходил на междисциплинарных площадках ТГТУ. Целью этого взаимодействия являлась выработка направлений и содержания, механизмов и рычагов эффективного внедрения результатов фундаментальных работ РААСН в реальную практику. Сформулированные в ходе дискуссий предложения в области инновационного материаловедения, строительной акустики и транспортного моделирования создают базу для достижения новых успехов в реализации программ устойчивого развития территорий и цифровизации строительной отрасли.

Планы на будущее. Учитывая высокую продуктивность работы площадки и значимость рассматриваемых вопросов для регионального развития, Организационным и Программным

комитетами принято решение о сохранении преемственности научного марафона. Очередная, XIII Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт», будет проведена в Тамбове на базе Тамбовского государственного технического университета в 2027 году. Состав участников и программа будущей конференции будут расширены за счет привлечения новых экспертных групп для обсуждения актуальных проблем градостроительства и технологического суверенитета страны.

Список использованных источников

1. Акимов, П. А. Научные исследования и разработки Российской академии архитектуры и строительных наук: состояние, направления и перспективы развития / П. А. Акимов, Е. М. Чернышов, П. В. Монастырев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов. ТГТУ. 15-16 июня 2017 года. - Изд-во Першина Р. В. - С. 12 - 28.

2. Монастырев, П. В. Образовательные программы Института архитектуры, строительства и транспорта как элементы инновационного развития экономики Тамбовской области / П. В. Монастырев, О. В. Евдокимцев, А. В. Милованов // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов. ТГТУ. 27 июня 2016 года. - Изд-во Першина Р. В. - С. 8 - 14.

3. Монастырев, П. В. Институт архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ в решении задач устойчивого развития региона: наука, образование, творчество / П. В. Монастырев, О. В. Евдокимцев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. - 2020. - С. 16 - 25.

4. Монастырев, П. В. Институт архитектуры, строительства и транспорта в проблемах устойчивого развития региона / П. В. Монастырев, О. В. Евдокимцев, В. А. Гавриков, Г. В. Зеленин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. - 2021. - С. 46 - 68.

5. Монастырев, П. В. Вклад института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ в устойчивое развитие региона / П. В. Монастырев, О. В. Евдокимцев, В. А. Гавриков, Г. В. Зеленин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 45-летию Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 13-14 июня 2024 года. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. - С. 44 - 74.

6. Монастырев, П. Об итогах XXX Международного смотра-конкурса лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству / П. Монастырев, Т. Ельчищева, А. Путинцева // Архитектура. Строительство. Дизайн. - 2023. - № 3-4(112-113). - С. 55 – 65.

7. О восьмом международном симпозиуме РААСН "Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений" / В. И. Травуш, П. А. Акимов, А. М. Белостоцкий [и др.] // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2023. – Т. 19, № 2. – С. 205-213.

8. Об основных итогах восьмого Международного симпозиума «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений» / В. И. Травуш, П. А. Акимов, А. М. Белостоцкий [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 3(22). – С. 27-39.

9. Старкова, Т. В. Повышение качества подготовки архитекторов за счет привлечения студентов к решению социально-экономических задач региона / Т. В. Старкова, Е. С. Мищенко, П. В. Монастырев // Современная наука: теория, методология, практика: материалы 2-й Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., 28-29 мая 2020 г.; ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». - Тамбов, Издательство ИП Чеснокова А. В., 2020. - С. 238 - 274.

10. Elena S. Mishchenko, Pavel V. Monastyrev, Oleg V. Evdokimtsev, Taisiya V. Starkova. Creative competitions as a tool for improving the quality of architects' training // 21st General Assembly of the International Experts and Symposium Heritage as a Builder of Peace. Florence (Italy), Fondazione Romualdo Del Bianco Istituto Internazionale Life Beyond Tourism, 2019, P.192-196.

11. Mishchenko E., Monastyrev P., Evdokimtsev O. V., Starkova T. V. Creative competitions as an element of the quality management system for architects' training // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Volume 18, Issue 6.4, 2018, P. 653-660.

УДК 57.018.634.72
87.03.04 Методологические, философские и общие теоретические основы экологии человека

О КРАСОТЕ, ГАРМОНИИ И КОМПРОМИССЕ

Попов Николай Сергеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Природопользование и защита окружающей среды»

Толстых Светлана Германовна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»
e-mail: svetlanatolstyh@mail.ru

*Аннотация***.** В разные исторические эпохи постижение человеком красоты и гармонии Вселенной приводило к развитию его духовной и нравственной культуры, поиску таинства смысла жизни, обогащению знаний о структурных особенностях живого и косного вещества, росту самосознания. Впечатляющий интерес у людей вызывали симметричные формы природных тел, их пропорции, сочетания цветов и звуков. Переход от чувственного восприятия гармонии к количественным измерениям означало трансформацию качественной философской категории в практический инструмент науки и искусства. Идеи В.И. Вернадского о симметрии и диссимметрии заложили основы в изучение пространственно-временных характеристик природных процессов, эволюционных механизмов и взаимодействий живого вещества с косным. Настоящая работа посвящена продвижению идей ученого в область обсуждения стратегии устойчивого развития цивилизации.

Ключевые слова: красота, гармония, пропорция, ряд Фибоначчи, принципы симметрии, единство в многообразии, учение В.И. Вернадского о биосфере, природо-промышленные макросистемы, устойчивое развитие, компромисс, координация.

Введение

Три тысячелетия лучшие умы человечества – мыслители и философы, ученые и зодчие пытались объяснить феномен визуальной красоты мироздания – от земных пространств, наполненных естественными и антропогенными ландшафтами, разнообразием геометрических форм природных тел, эффектными цветовыми и звуковыми явлениями, до космических пространств доступных человеческому взору и поражающих воображение неизменностью движения небесных тел, их красотой и величием.



Рисунок 1 - «Космическая» красота планеты Земля

Красота окружающего мира вдохновляет людей на творчество и созидание, подвиги и открытия, на понимание смысла жизни заложенного в универсальном законе бытия, именуемом гармонией. Древнегреческое слово гармония, как известно, означает связь, стройность, соразмерность, соотношение, слияние.

Гармония: связь, стройность соразмерность, соотношение, слияние

Рисунок 2 - Понятие гармонии

Гармония выражает согласованность и соразмерность сущностей любой системы, прообразом которой часто оказываются земные пейзажи и тела.



Рисунок 3 - Высказывание о гармонии А. Пуанкаре

Великий французский математик, механик, физик, астроном и философ А. Пуанкаре в книге «Ценность науки» (1905 г.) считал, что гармония выражается математическими законами и является источником всякой красоты. Гармония отдельных частей, их симметрия и равновесие, вносят порядок и сообщают частям единство, позволяют ясно их различать и понимать целое одновременно с деталями.



Рисунок 4 - Высказывание о гармонии А. Эйнштейна



Рисунок 5 - Оценка красоты математиком Г. Вейлем



Рисунок 6 - Высказывание В.И. Вернадского о гармонии



Рисунок 7 - Академик А.Н. Туполев



Рисунок 8 - Писатель Ф.М. Достоевский

Тема красоты и гармонии мира

Вклад В.И. Вернадского в осмысление роли симметрии-диссимметрии в природе и эволюции привел к тому, что эти принципы стали ассоциироваться с его именем в первой половине XX столетия.



Рисунок 9 – Высказывание В.И. Вернадского

К истории развития учения о гармонии

Каждое поколение ученых стремится осмыслить Вселенную – понять ее устройство, смысл и законы развития, используя для этого наследие прошлого и открывая с его помощью новые горизонты познания. Исторически эволюция учения о гармонии развивалась по двум направлениям: «чувственному» - в творчестве художников, скульпторов, поэтов и композиторов, и «числовому» - в работах математиков, физиков, архитекторов и инженеров. Красота мироздания, воплощенная в произведениях деятелей искусства, становилась основой при поиске количественных измерений (закономерностей) гармонии теми, кто использует математические расчеты в своей профессии. Учение Пифагора о гармонии является свидетельством сочетания идей связанных и с искусством, и с математикой.



Рисунок 10 - Античные философы

Осознав число как принцип гармонии, пифагорейцы развили учение о креативной сущности числа во всем мироздании и пришли к заключению о том, что «все есть число». В античной философии представление о гармонии развивалось в учениях Гераклита, Платона и Аристотеля. Для них гармония – это соразмерность, единство составных частей, порядок и регулярность. Она объясняется пропорцией, мерой и числом.

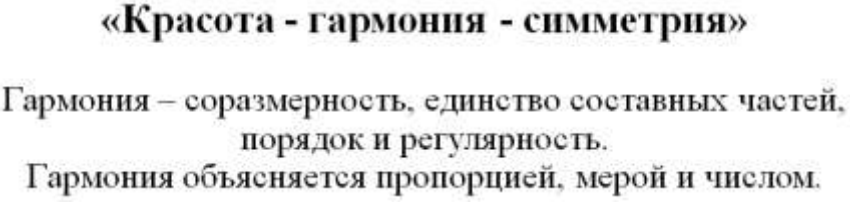


Рисунок 11 - Античный период, формула гармонии

В античную эпоху триада: «красота – гармония – симметрия» была основной догмой, а симметрия трактовалась как зеркальное сходство частей целого.

Именно в античную эпоху зародилось понятие «золотого сечения» - особой пропорции, при которой целое относится к большей части так же, как большая часть к меньшей. При этом число, выражающее это отношение φ = 1,618 … именуют золотым числом.



Рисунок 12 – Золотое сечение

В эпоху Средневековья гармония воспринимается как пропорция и свет, что добавило к античному количественному представлению о гармонии качественный смысл. Однако математическое восприятие гармонии закрепилось и в средневековой культуре. Философ и богослов А. Августин в учении о гармонии утверждал: «красота есть гармония, гармония есть пропорция, пропорция есть число». Не осталась без внимания и «золотая пропорция»: математик Л. Пизанский (Фибоначчи) описал последовательность чисел, ставшую основой для приближения к числу φ.



Рисунок 13 – Эпоха Средневековья

Идея гармонии была характерна и для эпохи Возрождения (Ренессанса), ознаменованной творчеством трех великих итальянских мастеров: Леонардо да Винчи, Микеланджело Буонарроти и Рафаэля Санти. И если в античности гармония воспринималась как свойство космоса, а в Средневековье – свойством Бога, то в Ренессансе она в равной степени считалась свойством природы, искусства и человека. И в отличие от статичной гармонии средневековья в эпоху Возрождения появилось понимание гармонии движения (грации), а в общем смысле – динамического процесса, отражающего перемены в обществе и культуре. Не была забыта и «золотая пропорция»: математик Л. Пачоли подробно разобрал ее эстетические и геометрические стороны в трактате «О божественной пропорции» (1509 г.), а Леонардо да Винчи сопроводил текст рисунками.



Рисунок 14 - Эпоха Возрождения

В эпоху Нового времени и эпоху Просвещения гармония являлась объектом изучения науки. Эти периоды связывают с трудами выдающихся мыслителей: Р. Декарта, Ф. Бэкона, И. Ньютона, Д. Дидро, И. Канта, Ф. Хатчесона и многих других. И. Кант понимал гармонию как единство в многообразии и считал ее результатом эволюции самой природы. В работах других просветителей гармония рассматривалась не только в виде символа согласия и упорядоченности, но и в аспекте равновесия рационального и эмоционального начала в человеке. Немецкий философ А. Цейзинг, основными интересами которого были математическая эстетика и золотое сечение, приписывал золотому сечению универсальную роль в красоте природы и искусства, что поспособствовало широкому распространению этой мысли в научном сообществе того времени.



Рисунок 15 - Эпоха Нового времени и Просвещения

Принцип «единство в многообразии», по всей видимости, является наиболее значимым в описании гармонии, поскольку он прошел испытание временем – от античности (философ Плотин, ок. 270 г. н.э.), до наших дней. Шотландский философ эпохи Просвещения Ф. Хатчесон в трактате «О красоте, порядке, гармонии, целесообразности», в разделе «О красоте теории» (1725 г.) впервые ввел в науку данный принцип в формулировке – «красота есть единство в многообразии». Он может рассматриваться как общесистемный, поскольку в нем заложено понятие вариативности элементов (сущностей) характерных для любой системы. Эстетическое восприятие принципа связано с единством многообразных геометрических форм, образов, структур, проявлений или ценностей, создающих визуальную красоту и слаженность.

В 1938 г. американский психолог Р.С. Вудворт использовал принцип «единство в многообразии» для объяснения феномена золотого сечения следующим образом: «квадрат – это единство, узкий прямоугольник – это многообразие, а приятный глазу вид – нечто среднее». Под «нечто среднее» понимается результат синтеза «единства» и «многообразия». В конце XX века вновь возрос интерес к более точным определениям единства в многообразии. В 2000 г. этот принцип стал официальным девизом Евросоюза.

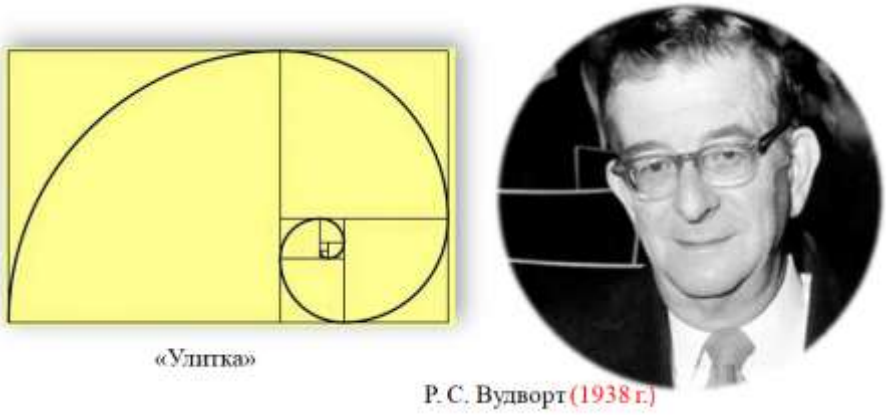


Рисунок 16 - Отображение принципа «единство в многообразии»

На современном этапе развития науки, гармония рассматривается как универсальный способ отбора структур в процессах самоорганизации. Она уже не является субъективным эстетическим идеалом, а объективной закономерностью, отвечающей на главный вопрос: почему природа и общество выбирают определенные формы развития из множества возможных.

Единство понимается через свойство эмерджентности, то есть через связь элементов, создающих структуру с качественно новыми свойствами (целое не сводится к сумме частей), а многообразие – это различие между элементами системы, их уникальные особенности и функции.

Целостность образа (системы) возникает и развивается через взаимодействие противоположностей, а гармония достигается не уничтожением различий, а их конструктивным взаимодействием на основе согласования целей и средств достижения.

Рисунок 17 - Диалектика принципа «единство в многообразии»

Биосфера Земли – это открытая диссипативная система, функционирующая за счет потока солнечной энергии. Она формируется под влиянием аллогенных (внешних) сил, таких как геологические и климатические изменения, и аутогенных (внутренних) процессов, обусловленных активностью живого вещества. По существующей на сегодня космологической теории уровень галактической радиации влияет на земную жизнь, вызывает мутации в ДНК организмов, ускоряет эволюционные процессы и приводит к появлению новых биологических видов. Энтропия Вселенной не определяет напрямую эволюционные события на Земле, но задает для них фундаментальные ограничения и возможности.



Рисунок 17 - Кибернетическая модель принципа «единство в многообразии»

В свою очередь атмосфера Земли выступает «энтропийным регулятором», поскольку работает как сложная саморегулируемая система: 1 – оптимизирует поток солнечной энергии (через парниковый эффект и конвекцию); 2 – усиливает действие отрицательной обратной связи (формируя облака и изменяя альбедо); 3 – поддерживает условия протекания биохимических процессов, запасающих негэнтропийную энергию; 4 – защищает упорядоченные структуры от дестабилизирующих факторов. Многообразие проявлений жизни на Земле есть результат сложного взаимодействия ряда факторов: потока солнечной энергии с низкой энтропией, механизмов адаптации и естественного отбора, гравитационной, электромагнитной и космической энергии.

Жизнь – это процесс непрерывной смены состояний живой материи в пространстве и времени, в результате которого возникает полиморфизм – многообразие форм, видов или проявлений, из которых рождается гармоническое целое. Организмы создают и поддерживают сложную структуру в сообществах, противостоя термодинамическому равновесию.



«Жизнь – это упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности и неупорядоченности, но и частично на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время».

Книга «Что такое жизнь?: физический аспект живой клетки» (1967 г.)

Рисунок 18 - Что такое жизнь (по Э. Шредингеру)

Эволюционный процесс определен как вероятность существования такого случайного события (возмущения, мутации) ε^* на множестве возможных событий E, что система, находящаяся в состоянии $h(t_i)$, в момент времени t'_{i+1} переходит в состояние $h\left(t'_{i+1}, \varepsilon^*\right)$, выход из которого осуществляется под действием соответствующих движущих сил, минимизирующих энтропию системы, и при этом структурная сложность нового состояния обозначенного $\theta\left(h\left(t_{i+2}\right)\right)$ становится больше структурной сложности предыдущего состояния $\theta\left(h\left(t_i\right)\right)$. В процессе эволюционного развития система максимизирует контакты с внешней средой, увеличивает устойчивость, улучшает понимание условий внешнего окружения и повышает свою управляемость. Наличие вероятностного оператора P связано с недостаточной предсказуемостью эволюционного процесса из-за неопределенности состава элементов множества E.

$$E_{vop} := P\left\{\exists \varepsilon^* \in E \mid h(t_i) \underset{\varepsilon^*}{\Rightarrow} h\left(t'_{i+1}, \varepsilon^*\right) \underset{\min H}{\Rightarrow} h(t_{i+2}) \wedge \theta(h(t_{i+2})) > \theta(h(t_i))\right\}$$

$i = 0, 1, 2, \ldots,$

$\boldsymbol{H}$ – энтропия; $\boldsymbol{\theta}(\cdot)$ – сложность; $\boldsymbol{P}$ – *вероятность*; $\boldsymbol{h}(\cdot)$ – состояние.

Рисунок 19 - Эволюционный процесс рождения «многообразия»

В процессах эволюции природных и антропогенных систем возможно появление множества состояний, каждое из которых обладает конкретными физико-химическими, биологическими, геометрическими, функциональными и иными свойствами. Синергетический эффект гармонизирует состояния сложных нелинейных экосистем с их окружением через процессы самоорганизации – самопроизвольного возникновения пространственно – временной упорядоченности (слаженности). Механизмы возникновения положительного синергетического эффекта известны как комменсализм, кооперация и мутуализм. Отрицательный синергетический эффект может быть вызван такими механизмами, как конкуренция, аменсализм, паразитизм, хищничество и нейтрализм.

Отрицательный эффект вызывает дисгармонию в системах через уменьшение их общего потенциала и организованности в результате негармоничного взаимодействия элементов и частей. В результате этого происходит отбор наиболее гармоничных жизнеспособных и устойчивых состояний. В антропогенных системах человек сознательно участвует в создании новой реальности, производя смену состояний под контролем – в целях обеспечения устойчивого развития экономики, природы и общества.

Пусть в гипотетической системе S существует набор элементов (сущностей), образующих многообразие $M = (m_1, m_2,\ldots, m_n)$. При определенных обстоятельствах количественные отношения между ними порождают некое новое свойство χ. Оператор F является отображением «количества» в «качество».

Формализация принципа «единство в многообразии»

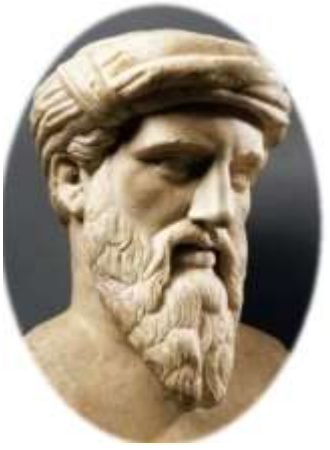
1. $M = (m_1, m_2, \ldots, m_n)$ - множество элементов системы S
2. Многообразие: $M^n = M \times M \times \cdots \times M$, $\times$ - прямое произведение
3. Оператор отображения: $F: M^n \to \chi$

Свойства оператора F:

- Неаддитивность: $F(m_i, m_j) \neq F(m_i) + F(m_j), i, j = \overline{1,n}$
- Зависимость от структуры: $F_S: M^n \to \chi$
- Сохранение индивидуальности элементов: $\pi_j \circ F_s = const$
- Инвариантности перестановок: $F(m_1, m_2, \ldots, m_n) = F(m_{v(1)}, m_{v(2)}, \ldots, m_{v(n)})$
- Устойчивости взаимодействия: $\left|m_i - m_i^g\right| < \varepsilon \Rightarrow \left\|F_s(m) - F_s(m^g)\right\| < \delta(\varepsilon)$

Рисунок 20 - Формализация принципа «единство в многообразии»

По замечанию В.И. Вернадского, понятие симметрии выросло на изучении живых организмов и живого вещества, в первую очередь человека.



Скульптор Пифагор Регийский **охарактеризовал симметрию как пространственную закономерность в расположении одинаковых частей фигуры или самих фигур**

(V век до н.э.)

Рисунок 21 - Симметрия в гармонии

Здание Тамбовского государственного музыкально – педагогического института им. С.В. Рахманинова является примером симметрии.



Рисунок 22 - Пример симметрии в архитектуре

Здание Тамбовского государственного технического университета является примером диссиметрии.



Рисунок 23 - Пример диссимметрии в архитектуре

Принцип Ф.Э. Неймана: «Элементы симметрии любого физического свойства кристалла должны включать элементы симметрии точечной группы самого кристалла». Чем более упорядочена и регулярна внутренняя структура, тем больше вероятность того, что сама система будет симметричной. Верно и обратное – наблюдая симметрию системы можно предположить наличие симметрии ее структуры. При этом структура является первичной. Поскольку любая структура формируется в результате комбинаций последовательного и/или параллельного соединения элементов, для симметричных структур характерны параллельные соединения и тождественные (при преобразованиях) элементы. А как известно, надежность систем с параллельным соединением элементов оказывается выше последовательных. Возникновение в природе симметричных объектов и систем может быть оправдано их более высокой надежностью и устойчивостью к внешним воздействиям.

$$S = (M, R);$$

$M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$; R – отношения.

Бинарное отношение симметрично, если

$$\forall\, m_i, m_j \in M, \qquad m_i R m_j \Rightarrow m_j R m_i.$$

Симметрия структуры задает возможные формы и свойства системы:

$$G_s \subseteq G_p$$

G_s - свойства системы; G_p - свойства структуры



(Принцип Ф.Э. Неймана, 1830 г.)

Рисунок 24 - Симметрия системы - инвариантность преобразования координат

Симметрия является количественным выражением гармонии и красоты. Будучи важнейшим природным формообразующим принципом, симметрия оказывается и ведущим принципом гармонии. В XX веке стало понятно, что принцип симметрии фактически лежит в основе всего мироздания. Ю. Вигнер считал, что принципы симметрии устанавливают связи между законами природы, а законы природы устанавливают структуру в мире явлений.

Симметрия – «сверхпринцип науки»

(Ю. Вигнер физик-теоретик)
(Нобелевская лекция, 1963 г.)



Рисунок 25 - Симметрия как ведущий принцип гармонии

Симметрия тел способна порождать полезные физико-химические, механические, электрические и оптические свойства. Вот некоторые из них: в авиа -, рекето – и судостроении симметрическая форма изделий снижает сопротивление обтекающей их среды, позволяет развивать большую скорость и экономить топливо; в химической отрасли и машиностроении создавать материалы с изотропными свойствами, что упрощает разного рода инженерные расчеты; в лазерах симметричное строение кристаллов улучшает качество выходного излучения.

Принцип П. Кюри позволяет, например, найти измененную симметрию кристалла и соответствующие изменения симметрии его физических свойств.



«Если определенные причины вызывают соответствующие следствия, то элементы симметрии причин должны проявляться в вызванных ими следствиях»

Рисунок 26 - Принцип П. Кюри (1894 г.)

Под диссимметрией понимается частичное нарушение симметрии. совместное действие всех явлений природы приводит к возникновению серии новых систем: $S \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \ldots \rightarrow S_n$, в которой S_n финальное состояние системы S, обладающее «остаточной» симметрией.



«Когда несколько различных явлений природы накладываются друг на друга, образуя одну систему, их диссимметрии складываются. В результате остаются лишь те элементы симметрии, которые являются общими для каждого явления в отдельности»

Формализация принципа П. Кюри:

$$H(S_1, S_2, \ldots, S_n) = H(S_1) + H(S_2 \mid S_1) + H(S_3 \mid S_1, S_2) + \ldots H(S_n \mid S_1, S_2 \ldots, S_{n-1}).$$

Рисунок 27 - Принцип П. Кюри в редакции академика А.В. Шубникова (1956г.)

Если диссимметрические состояния зависимы, энтропия объединенных систем определяется как $H(S_1, S_2, \ldots, S_n)$. Нарушение симметрии в S порождает новые свойства и эффекты. Выдающийся математик Э. Нетер в 1918 г. доказала фундаментальную теорему, связавшую симметрии физической системы с законами сохранения. Идея теоремы заключается в том, что каждой непрерывной симметрии физической системы соответствует определенный закон сохранения: 1 – однородность времени (инвариантность законов физики относительно сдвига во времени) – закон сохранения энергии; 2 - однородность пространства (инвариантность относительно пространственных сдвигов) – закон сохранения импульса; 3 – изотропия пространства (инвариантность относительно поворотов системы координат) – закон сохранения момента импульса; 4 – калибровочная симметрия (в квантовой теории поля) – закон сохранения электрического заряда.

В трудах выдающегося естествоиспытателя В.И. Вернадского принципы симметрии и диссимметрии занимают ключевое место, особенно в контексте изучения живого вещества биосферы и пространства – времени. Ученый рассматривает эти понятия как фундаментальные для понимания форм организации природы и ее эволюции. На протяжении 60 лет ученый размышлял о значимости явлений симметрии – диссимметрии, всесторонне анализируя результаты работ своих предшественников и современников.

«Симметрия есть выражение геометрических пространственных правильностей»,… «геометрическая основа всех природных физико-химических пространств».

«Законы симметрии – это геометрические законы природных тел, т.е. физико-химических пространств нашей планеты».

Рисунок 28 - Принцип симметрии-диссимметрии в трудах В.И. Вернадского

Содержательность научных выводов Вернадского неоспорима: изучение геометрии земных физико-химических пространств позволяет глубже понять структуру и трансформацию природных систем, включая взаимодействие живых и неживых компонентов Земли. Он считал, что многообразие земных пространств и их состояний необходимо изучать параллельно с изучением явлений симметрии. Высказал гениальную гипотезу о том, что «геометрический субстрат живого вещества» может соответствовать одному из пространств в геометрии Римана. Такое пространство описывается как конечное, замкнутое и резко отделяющееся от всего окружающего (косного). Итогом анализа опубликованных разными авторами многочисленных работ по симметрии – диссимметрии для

Вернадского стал синтез накопленных знаний в виде утверждения всеобщности принципа симметрии в окружающем мире.

На основании введенного В. И. Вернадским понятия физико-химического пространства академик В.В. Кафаров (1914-1995 гг.) сформулировал понятия физико-химических и биохимических систем, имеющих важное смысловое значение для процессов моделирования технологического оборудования.



«ФХС – многокомпонентная, многофазная, в общем случае неоднородная сплошная среда, распределенная в пространстве (в пределах рабочего объема аппарата) и переменная во времени, в каждой точке гомогенности которой и на границе раздела фаз имеет место перенос массы, энергии, импульса, момента импульса, заряда (электрического, магнитного) при наличии их источников и стоков».

Рисунок 29 - Понятие физико-химической системы академика В. В. Кафарова (1983 г.)

Диссимметрию органических молекул Владимир Иванович относил к фундаментальным свойствам живой материи. Он полагал, что передача этого свойства из поколения в поколение позволяет осуществлять воспроизводство органических полимеров в клетках. А «правизна» и «левизна» молекул определяет жизнь как пространство отличное от пространства косного вещества. Взаимодействие диссимметрий ученый считал универсальным механизмом эволюции и видел в них энергетическое значение (движущую силу). Новаторской темой его глубокого анализа стала связь времени с пространством в аспекте живого вещества. В работе он написал: «Для тела живого организма отделять время от пространства невозможно».

П. Кюри: «Диссимметрия творит явления»

Диссимметрия структурирует хаос, делая состояния более вероятными и тем самым определяет поведение систем.

Рисунок 30 - Диссимметрия, как механизм эволюции

В.И. Вернадский рассматривал биосферу через призму геохимических и биогеохимических процессов, акцентируя внимание на роль живого вещества в преобразовании Земли. Результаты нарушения симметрии в распределении материи и энергии в пространстве и времени, наблюдаемые в объектах, процессах или явлениях окружающего мира представляют собой феномен объективной реальности, именуемый информацией. Современные исследования показывают, что информация не существует без ее физического носителя. Результаты нарушения симметрии в распределении материи и энергии в пространстве и времени, наблюдаемые в объектах, процессах или явлениях окружающего мира представляют собой феномен объективной реальности, именуемый информацией. Расширение идей Вернадского о физико-химическом пространстве возможно за счет введения в это пространство информации об энтропии, как мере смены его состояний, и интеграции современных знаний о взаимодействии материально – энергетических и информационных процессов.



Информация – мера неоднородности распределения материи и энергии в пространстве и времени.

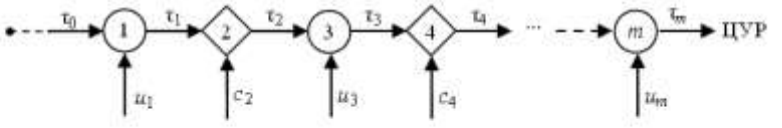
Статья: «О кибернетике, как науке, 1964 г.

Рисунок 31 - Диссимметрия и информация

Комментарий: В контексте учения Вернадского это означает эволюцию геоэкономического и социально-экологического пространства городов и территорий в направлении осуществления национальных целей устойчивого развития (ЦУР).

Диссимметрия и компромисс в развитии цивилизации

Распоряжение Правительства РФ №4146-р «Стратегия пространственного развития РФ на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года»



Фрагмент эволюционного движения системы к целям

Рисунок 32 - Диссимметрия и компромисс в развитии цивилизации

Диссимметрия и компромисс – две составляющие стратегии устойчивого развития цивилизации, поскольку первая из них создает неравнозначность и дисбаланс в разных по смыслу показателях, а вторая содействует поиску баланса между ними. С этой точки зрения – жизнь извечный поиск компромиссов в окружении биологических, социальных, этических, правовых, финансовых и иных нормативов. Диссимметрия создает условия для поиска компромисса отвечающего ЦУР, а координация целей и ресурсов между сторонами конфликта способствует эффективному решению общей задачи.



– – – – траектория устойчивого развития

Рисунок 33 - Социально-экономический и экологический компромисс в стратегии устойчивого развития

Заключение

1. Красота есть единство в многообразии.
2. Гармония является результатом положительного синергизма.

3. Учение В.И. Вернадского о симметрии-диссимметрии имеет всеобщий характер и в статике и в динамике.

4. Принцип «единство в многообразии» реализуется в процессе эволюции живых и неживых систем.

5. Данный принцип представлен в виде оператора отображения «количества в качество».

6. Физико-химическое земное пространство необходимо дополнить информационной компонентой, характеризующей пространственно-временное состояние систем.

7. Принцип П. Кюри формализован с помощью условной энтропии.

8. Типовые категории систем в кибернетике необходимо расширить на «симметричные-диссимметричные».

Список использованных источников

1. Большая советская энциклопедия: в 30 томах. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. Энцикл. 1970 -1981. – 30 т.

2. Вейль Г. Симметрия / Герман Вейль; пер. с англ. Б. В. Бирюкова и Ю. А. Данилова ; под ред. Б. А. Розенфельда. — М. : Наука, 1968. — 192 с.

3. Умберто Эко. История Красоты / Умберто Эко; под редакцией Умберто Эко; перевод с итал. А. А. Сабашниковой. — М.: СЛОВО/SLOVO, 2007. 437 с.

4. Волошинов А. В. Математика и искусство: Кн. для тех, кто не только любит математику или искусство, но и желает задуматься о природе прекрасного и красоте науки. — 2-е изд., дораб. и доп. — М.: Просвещение, 2000. - 399 с.

5. Хотеева, О. В. Гармония как константа культуры: специальность 24.00.01 "Теория и история культуры" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата культурологии / Хотеева Ольга Викторовна. – Саратов, 2006. – 19 с.

6. Хисматуллина, Ю. Р. Симметрия, асимметрия и диссимметрия в структуре и развитии живой материи : специальность 09.00.08 "Философия науки и техники" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата философских наук / Хисматуллина Юлдус Рахимзяновна. – Саратов, 2005. – 20 с.

7. Урусов В. С. Правизна-левизна в живой и неживой природе (от В.И. Вернадского до наших дней) / Вернадский и XXI век: геосфера, биосфера, ноосфера и симметрия. 2013. С., ИК “Св. Иван Рилски”, 14-25 с.

8. Стахов А. П. Роль «Золотого сечения» и «Математики Гармонии» в преодолении «стратегических ошибок» в развитии математики //Академия Тринитаризма.–М.: Эл. – 2008. – №. 77-6567. – С. 02321074-45.

9. Monod J. Chance and necessity: An essay on the natural philosophy of modern biology / J Monod, New York: Knopf, 1971. 199 p

10. Попов, Н.С. О некоторых особенностях в постановке и решении региональных задач устойчивого развития. Часть IV / Н. С. Попов, О. В. Милованова, А. А. Баламутова, Л. Н. Чуксина // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2022. – № 1(83). – С. 46-62. – DOI 10.17277/voprosy.2022.01.pp.046-062.

11. Одум, Ю. Экология : в 2 т. / Ю. Одум ; пер. с англ. Б.Я. Веленкина ; под ред. В. Е. Соколова. – М. : Мир, 1986. – Т. 2. – 376 с.

12. Харари Ф. Теория графов / Фрэнк Харари ; пер. с англ. В. П. Козыревой ; под ред. Г. П. Гаврилова. — М. : Мир, 1973. — 300 с.

13. Вернадский В. И. Собрание сочинений : в 24 т. / В.И. Вернадский; под ред. акад. Э.М. Галимова; [Рос. акад. наук, Ин-т геохимии и аналит. химии им. В.И. Вернадского, Комис. по разраб. науч. наследия акад. В.И. Вернадского]. — Москва : Наука, 2013. Т. 9 – 574 с

14. Кафаров, В. В. Современное состояние кибернетики химико-технологических процессов и систем / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов // Проблемы автоматизированного проектирования и автоматизации эксперимента. – Москва : Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева, 1983. – С. 5-23.

15. Попов, Н. С. О некоторых особенностях в постановке и решении региональных задач устойчивого развития. Часть I / Н. С. Попов, О. В. Пещерова, А. А. Чуксин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2020. – № 2(76). – С. 91-106. – DOI 10.17277/voprosy.2020.02.pp.091-106.

УДК 666.97
67.09.33 Бетоны. Железобетон. Строительные растворы, смеси, составы.

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ КЛАССОВ В50-В70 С УПРАВЛЯЕМЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ И ДЕФОРМАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Каприелов Семен Суренович,
заведующий лабораторией химических добавок и модифицированных бетонов НИИЖБ А.А. Гвоздева НИЦ «Строительство», д-р техн. наук, академик РААСН, г. Москва, Россия
e-mail: sskapri@gmail.com

1. Общие сведения

Высокопрочные лёгкие бетоны (далее по тексту ВПЛБ) — это новое поколение конструкционных лёгких бетонов классов по прочности В50-В70, марок по плотности D1600-D2000, получаемых из высокопластичных и самоуплотняющихся смесей, не требующих интенсивного виброуплотнения.

Ключевым фактором технологии производства ВПЛБ является научно обоснованная зависимость плотности (ρ), прочности (R_b) и модуля упругости (E_b) бетона от объемного содержания высокопрочного цементного камня и плотности, прочности и фракций пористого крупного заполнителя.

2. Основные характеристики бетонов

- ✓ Прочность при сжатии, кубиковая (R)……... 60 – 80 МПа;
- ✓ Прочность при осевом сжатии, призменная (R_b)…… 57 – 77 МПа;
- ✓ Прочность при осевом растяжении (R_{bt})…….. 3,5 – 4,5 МПа;
- ✓ Прочность при растяжении при изгибе (R_{btb})…….. 8 – 9 МПа;
- ✓ Начальный модуль упругости (E_b)…….. 20 – 35 ГПа;
- ✓ Средняя плотность (ρ)……... 1800 – 2000 кг/м^3.
- ✓

3. Основные материалы и характеристики бетонных смесей

3.1. Материалы:

- ➢ **Цемент** – портландцемент марки ЦЕМ I 52,5, соответствующий ГОСТ 31108;
- ➢ **Мелкий заполнитель** фракций до 5 мм:
- ✓ песок из плотных горных пород (кварцевый), соответствующий ГОСТ 8736;
- ✓ песок пористый искусственный (керамзитовый), соответствующий ГОСТ 32496;
- ✓ песок из пористых горных пород (туфовый), соответствующий ГОСТ 22263.
- ➢ **Крупный заполнитель** фракций 5-10 мм:
- ✓ щебень из плотных горных пород (гранитный), соответствующий ГОСТ 8267;
- ✓ гравий пористый искусственный (керамзитовый), соответствующий ГОСТ 32496;
- ✓ щебень из пористых горных пород (туфовый), соответствующий ГОСТ 22263.
- ➢ **Добавки:**
- ✓ органоминеральный модификатор МБ 50 С , соответствующий ГОСТ Р 5617
- ✓ суперпластификаторы

В качестве пористых заполнителей в исследованиях, результаты которых представлены в данной публикации, использованы как керамзитовый песок фракции 0-5 мм и гравий фракции 5-10 мм разных производителей, так и песок щебень тех же фракций из туфовых пород. Характеристики приведены на рис.1, рис. 2 и таб.1 и таб. 2



АО «Керамзит»
г. Рязань
фр. 0-5 мм, 5-10 мм



ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» г. Тюмень
фр. 0-5 мм, 5-10 мм



ООО «Октябрьский керамзит»
г. Самара
фр. 0-5 мм, 5-10 мм

Рисунок 1 - Внешний вид и свойства керамзитовых заполнителей трёх разных заводов

Таблица 1

Характеристики керамзитовых песка и гравия трёх производителей

Показатель качества	Производитель керамзитового заполнителя фракций…					
	АО "Керамзит" (г. Рязань)		ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (г. Тюмень)		ООО "Октябрьский керамзит" (г. Самара)	
	фр. **0-5 мм**	фр. **5-10 мм**	фр. **0-5 мм**	фр. **5-10 мм**	фр. **0-5 мм**	фр. **5-10 мм**
Марка по насыпной плотности	М250	М250	М800	М800	М1000	М900
Насыпная плотность, кг/м^3	**234**	**221**	**727**	**750**	**910**	**835**
Марка по прочности	П35	П35	П150	П150	П350	П300
Прочность на сдавливание в цилиндре, МПа	**0,70**	**0,60**	**3,95**	**4,10**	**8,90**	**7,60**
Водопоглощение, %	27,50	31,69	20,63	14,89	16,94	11,97



Карьер «Козлинка-2» г. Нальчик фр. 0-5 мм, 5-10 мм

Карьер «Святогорское» г. Хабаровск фр. 0-5 мм, 5-10 мм

Рисунок 2 - Внешний вид и свойства заполнителей из туфа двух различных месторождений

Таблица 2

Характеристики песка и щебня из туфовых пород разных месторождений

Показатель качества	Месторождения туфового заполнителя фракций…			
	«Козлинка-2» г. Нальчик		«Святогорское» г. Хабаровск	
	фр. 0-5 мм	**фр. 5-10 мм**	**фр. 0-5 мм**	**фр. 5-10 мм**
Марка по насыпной плотности	М1100	М1100	М1000	М1000
Насыпная плотность, кг/м^3	**1074**	**1050**	**965**	**955**
Марка по прочности	П200	П200	П250	П250
Прочность на сдавливание в цилиндре, МПа	**2,1**	**2,0**	**2,45**	**2,5**
Водопоглощение, %	13,40		11,80	

3.2. Технологические свойства бетонных смесей:

Свойства бетонных смесей:

- высокая пластичность и связность-нерасслаиваемость смесей, марка по удобоукладываемости П5 (ОК = 24-26 см) и самоуплотняющиеся марок РК1-РК2 (расплыв конуса 55-70 см);
- сегрегационная устойчивость самоуплотняющихся смесей, перекачиваемых бетононасосами на высоту не менее 75 м.

Прогнозируемые преимущества конструкций в сравнении с аналогами из тяжёлого бетона:

- пониженная на 18-22 % масса конструкций;
- повышенный предел огнестойкости;

- повышенная стойкость к резким перепадам температур и морозостойкость;
- повышенная трещиностойкость.

4. Производственный опыт

Технология производства самоуплотняющихся высокопрочных лёгких бетонов в опытном порядке реализована при производстве сборных панелей – элементов крупногабаритных модулей, производимых компанией «МонАрх», также при бетонировании монолитных плит перекрытий с подачей самоуплотняющихся смесей на высоту при бетонировании





Укладка бетонной смеси



Готовая стеновая панель



Сборка модулей из панелей

Рисунок 3 - Производство изделий на комбинате КИТ – МонАрх





Рисунок 4 - Бетонирование монолитных конструкций с подачей бетонной смеси (РК=72 см) на высоту 73 м (при общей длине бетоновода, с учётом горизонтального участка, около 110 м)

5. Экономический аспект

Сравнивая стоимость лёгкого и тяжёлого бетонов одного класса по прочности, надо исходить из того, главным фактором, влияющим на себестоимость, является цена пористого заполнителя, доставленного производителю бетона

В регионах Дальнего Востока и Северного Кавказа, где доступен недорогой заполнитель из туфовых пород стоимость высокопрочного лёгкого и тяжелого бетонов одного и того же класса должна быть одинакова.

В центральных регионах России, где целесообразно использовать керамзитовый заполнитель стоимость высокопрочного лёгкого и тяжелого бетонов одного и того же класса может отличаться.

Ориентиром является сравнение (на примере производства изделий в Подмосковье, на предприятии «КИТ-Монарх»), себестоимости лёгкого и тяжелого бетонов класса **В70**, из которого следует, что использование керамзитового гравия приводит к **увеличению себестоимости на 6-8 %** в зависимости от состава бетонной смеси.

Несмотря на возможную, в зависимости от регионов строительства, разницу в стоимости лёгкого и тяжелого бетонов аналогичных классов, эффект от проектирования, производства и применения облегчённых на 20% конструкций может выражаться в значительном снижении материалоёмкости, а

также в повышении эксплуатационных свойств – сейсмостойкости, огнестойкости и в других достоинствах сооружений.

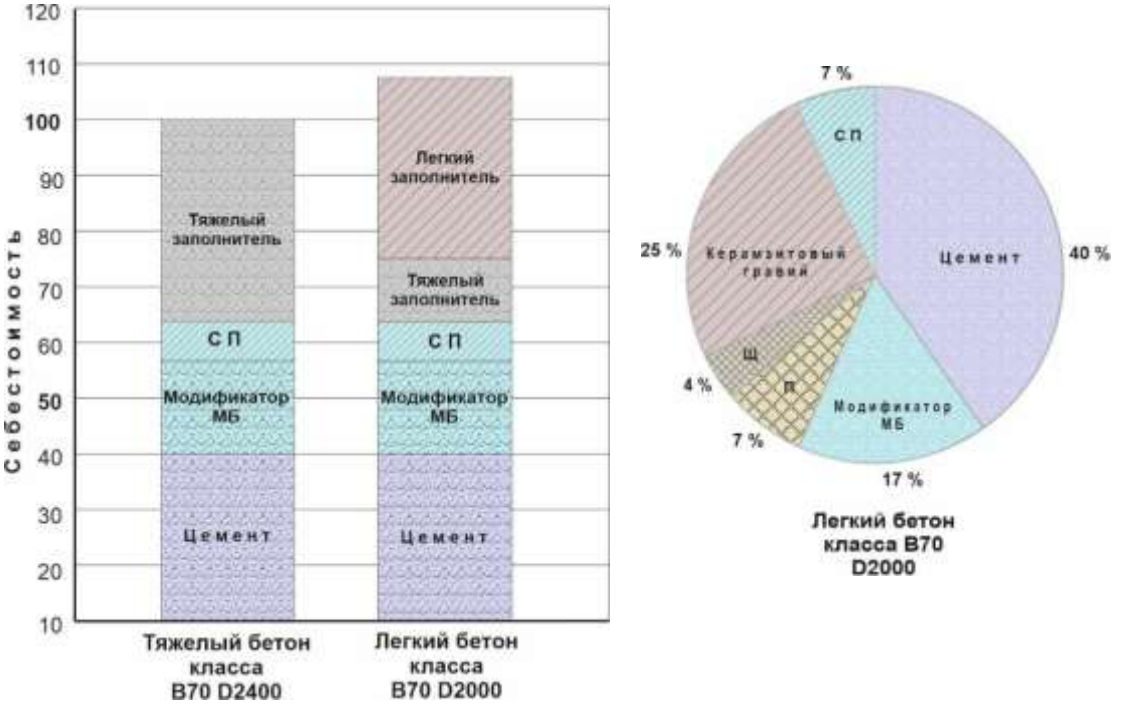


Рисунок 5 - Доля основных компонентов в себестоимости бетонных смесей, %

6. Прогнозируемые преимущества и области применения

Прогнозируемые преимущества конструкций в сравнении с аналогами из тяжёлого бетона:

- пониженная на 18-22 % масса конструкций;
- повышенный предел огнестойкости;
- повышенная стойкость к резким перепадам температур и морозостойкость;
- повышенная трещиностойкость.

Области применения:

- Пролетные конструкции мостов и путепроводов;
- Перекрытия и каркасы высотных зданий;
- Конструкции для крупнопанельного и объемно-блочного домостроения.

Список использованных источников

1. Прочностные и деформационные характеристики высокопрочных самоуплотняющихся легких бетонов на искусственных и природных пористых заполнителях / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Н. И. Карпенко [и др.] // Бетон и железобетон. – 2025. – № 3(628). – С. 52-68. – DOI 10.37538/0005-9889-2025-3(628)-52-68. – EDN SWWFTR.

2. Каприелов, С. С. Самоуплотняющийся высокопрочный керамзитобетон классов В50-В65 - новое поколение легких бетонов для конструкций высотных зданий / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Н. М. Селютин // Строительные материалы. – 2023. – № 4. – С. 42-50. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-812-4-42-50. – EDN KAYJCU.

3. Технология возведения конструкций каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60-В100 / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, А. О. Джалаль [и др.] // Вестник НИЦ Строительство. – 2022. – № 2(33). – С. 106-121. – DOI 10.37538/2224-9494-2022-2(33)-106-121. – EDN MWKCIE.

4. Bezgodov, I. M. Relationship Between Strength and Deformation Characteristics of High-Strength Self-Compacting Concrete / I. M. Bezgodov, S. S. Kaprielov, A. V. Sheynfeld // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – Vol. 18, No. 2. – P. 175-183. – DOI 10.22337/2587-9618-2022-18-2-175-183. – EDN AVEAKR.

5. Каприелов, С. С. Опыт бетонирования массивной густоармированной конструкции с обеспечением термической трещиностойкости / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, С. И. Иванов // Строительные материалы. – 2023. – № 10. – С. 15-24. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-818-10-15-24. – EDN YHSSDI.

6. Патент № 2835462 C1 Российская Федерация, МПК C04B 28/04. Бетонная смесь для конструкционного лёгкого бетона : заявл. 24.07.2024 : опубл. 25.02.2025 / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Н. М. Селютин [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Предприятие Мастер Бетон". – EDN LPKBNU.

УДК 69.04
67.11.31 Бетонные и железобетонные конструкции

К ИССЛЕДОВАНИЮ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ДВУХ- И ТРЕХОСНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЙ

Корсун Владимир Иванович,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции»
e-mail: korsun_vi@mail.ru

Макаренко Сергей Юрьевич
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДонНАСА, Филиал ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»), ассистент кафедры теоретической и прикладной механики
e-mail: makarenko_sergejj@mail.ru

Ключевые слова: бетон, гидростатическое сжатие, деформации ползучести.

Возможность применения соотношений теории пластичности для описания деформаций ползучести бетона для общего случая объемного напряженного состояния рассмотрена в работах [1, 2]. Такой подход позволяет построить сравнительно несложный расчетный аппарат, однако требует экспериментального определения закономерностей связей между инвариантами напряженного и деформированного состояний на основе специальных программ нагружения.

Значимыми факторами, определяющими основные закономерности объемного и сдвигового деформирования бетона, являются вид напряженного состояния и уровень нагружения. В условиях неравномерного двух- и трехосного сжатия существенным является проявление силовой анизотропии деформирования, связанной с явлениями сжимаемости и разуплотнения структуры бетона вследствие микротрещинообразования [1 - 5].

Физические соотношения для бетона с учетом фактора времени при таком представлении могут быть записаны в виде связи между компонентами шарового и девиаторного тензоров напряжений и деформаций:

$$\varepsilon_o = \frac{\sigma_o}{K_\sigma} \cdot \frac{\sigma_o \cdot (1-2\cdot\mu)\cdot(1+\varphi_v)}{E} \; ;$$

$$\varepsilon_k - \varepsilon_o = (\sigma_k - \sigma_o) \cdot \frac{1+\varphi_\gamma}{2\cdot G} = (\sigma_k - \sigma_o) \cdot \frac{(1+\mu)\cdot(1+\varphi_\gamma)}{E} \quad ; \qquad (k = 1,2,3) \quad ,$$

где σ_o, ε_o, E, μ - соответственно среднее напряжение, средняя деформация, начальный модуль деформаций, коэффициент поперечной деформации бетона;

$\varphi_v = \frac{\theta_c}{\theta_{el}} = \frac{C_v \cdot E}{3\cdot(1-2\cdot\mu)}$ - характеристика объемной ползучести;

$\varphi_\gamma = \frac{\gamma_{i,c}}{\gamma_{i,el}} = \frac{C_\gamma \cdot E}{2\cdot(1+\mu)}$ - характеристика сдвиговой ползучести;

θ_{el} , θ_c , $\gamma_{i,el}$, $\gamma_{i,c}$ - соответственно упругие и пластические составляющие деформаций относительного изменения объема и интенсивности деформаций сдвига;

C_v , C_γ - меры объемной и сдвиговой ползучести:

$$C_v = \frac{\theta_c}{\sigma_o} \; ; \qquad C_\gamma = \frac{\gamma_{i,c}}{\tau_i} \; .$$

Методика раздельного определения сдвиговой и объемной мер ползучести при описании длительного деформирования бетона в условиях сложных напряженных состояний нашла отражение в работах [1 – 3].

В литературных источниках представлен довольно широкий подбор результатов экспериментальных исследований ползучести бетона при различных видах напряженного состояния [1 - 7]. Исследованию закономерностей длительного деформирования бетона в условиях плоского напряженного состояния посвящены работы [1 - 5]. В области трехосных напряженных состояний результаты исследований представлены в гораздо меньшем объеме, что связано со значительными методическими сложностями проведения экспериментов [6, 7]. При этом в большинстве экспериментальных исследований уровень нагружения $\eta = \frac{\sigma_k}{R_b}$ не превышает 0.3…0.5, что соответствует области линейной ползучести;

Выделяется несколько основных факторов, затрудняющих анализ и требующих дополнительного изучения:

- влияние уровня длительного нагружения $\eta = \frac{\sigma_k}{R_b}$ (где: $\sigma_{k=1,2,3}$ - главные нормальные напряжения; R_b – призменная прочность бетона);
- ограниченность экспериментальных данных в условиях характерных видов напряженных состояний при различных уровнях длительного нагружения;
- отсутствие части данных о деформациях в плоскостях нагружаемых и на не нагружаемых гранях образцов при исследовании ползучести в условиях трехосного неравномерного и плоского напряженных состояний [4 - 7].

Недостаток отмеченных данных в значительной мере затрудняет получение достоверных зависимостей величин объемной C_v и сдвиговой C_γ мер ползучести от уровней нагружения. В связи с этим важной представляется задача получения указанных характеристик путем непосредственного испытания бетонных образцов в условиях гидростатического сжатия и чистого сдвига.

Изучение влияния гидростатического сжатия на объемные деформации ползучести бетона выполнено в экспериментальной установке (рисунки 1а, б).

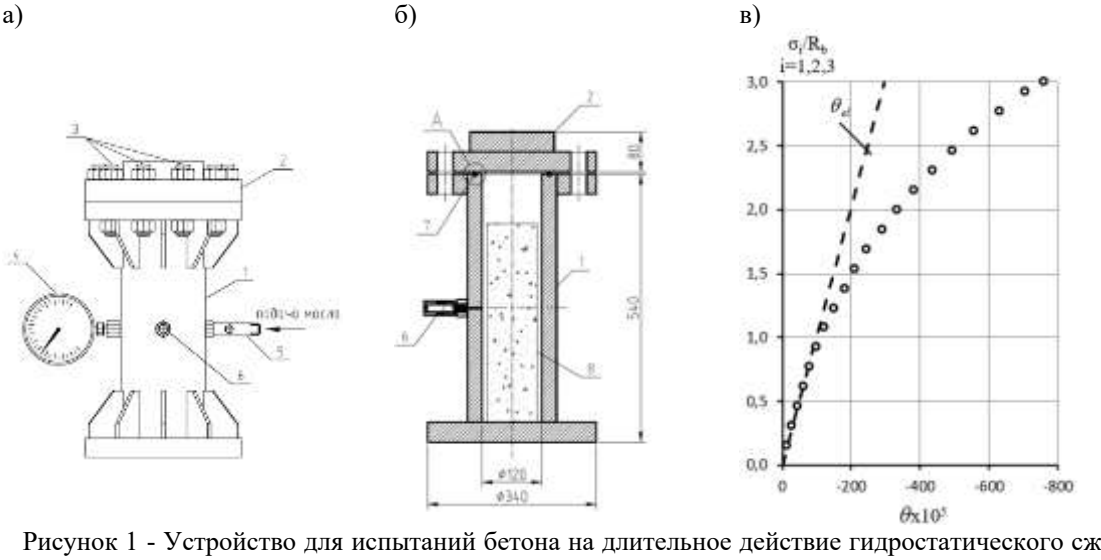


Рисунок 1 - Устройство для испытаний бетона на длительное действие гидростатического сжатия (а, б) и график изменения деформаций сокращения объема на этапе кратковременного нагружения:
1 – стальная капсула; 2 – крышка; 3 – стяжные шпильки М30; 4 – манометр; 5 – обратный клапан; 6 – ввод для проводов; 7 – кольцевая резиновая уплотнительная прокладка; 8 – бетонный образец

Основная проблема при исследовании деформаций ползучести бетона в условиях сложных

напряженных состояний связана с ограниченным или полным отсутствием доступа к поверхностям опытных образцов. Данная проблема решается использованием глубинных датчиков деформаций.

Исследование в условиях гидростатического сжатия выполнены на образцах-цилиндрах диаметром 100мм и высотой 400мм, изготовленных из тяжелого бетона класса В20 состава: ПЦ (марки 400): П : Щ = 1 : 2.26 : 3.25. Призменная прочность бетона в возрасте 28 суток - R_b=13 МПа. Реализованы 4 уровня длительного нагружения по отношению к призменной прочности: $\eta = \sigma_o/R_b$ = 0.5; 1; 2: 3. Загруженные образцы выдерживались под нагрузкой в течение 90 сут с постоянным контролем показаний глубинных датчиков деформаций и уровня давления рабочей жидкости в системе нагружения.

Экспериментально установлено, что на первоначальном этапе кратковременного нагружения отклонения кривой относительного изменения объема θ от закона упругого деформирования происходит при уровне равномерного трехосного обжатия $|\sigma_o| = |\sigma_1| = |\sigma_2| = |\sigma_3| > R_b$ (рисунок 1в). Результаты испытаний свидетельствуют о практически линейной зависимости величины меры предельной объемной деформации ползучести C_v от уровня средних напряжений $\eta = \sigma_o/R_b$ в диапазоне приложенных нагружений.

Основные выводы.

1. Бетон, подверженный действию гидростатического сжатия до уровня $\eta = \sigma_o/R_b \approx 1$, деформируется практически упруго. При увеличении уровня гидростатического сжатия выше $\eta > 1$ наблюдается развитие неупругих деформаций сокращения объема, обусловленное уплотнением (сжимаемостью) структуры.
2. С повышением уровня гидростатического сжатия затухание объемных деформаций ползучести происходит за более короткий период времени в сравнении с простым одноосным сжатием.
3. Зависимость величины меры предельной объемной ползучести бетона от уровня гидростатического сжатия в исследованном диапазоне нагружений близка к прямолинейной.

Список использованных источников

1. Корсун В.И. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий. – Макеевка: ДонГАСА, 2003. – 153 с.
2. Корсун В.И., Мащенко А.Н. Особенности развития линейных, объемных и сдвиговых деформаций ползучести бетона при плоском напряженном состоянии // Вестник ДГАСА. Вып. 2001-4(29). – Макеевка: ДГАСА, 2001. – С. 65-72.
3. Корсун В.И., Корсун А.В., Канищев Р.А. Закономерности изменения инвариантных характеристик ползучести бетона при неодноосных напряженных состояниях // Сб. Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций: : материалы XI Акад. чт. РААСН – Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти первого пред. Науч. совета РААСН «Механика разрушения бетона, железобетона и других строительных материалов», почетного члена РААСН, д-ра техн. наук, проф. Зайцева Юрия Владимировича [Электронный ресурс] – 26-28 ноября 2020г. – Саранск-2020 – с. 74-82 ISBN 978-5-7103-4074-5
4. Кириллов А.П., Завялов В.Н. Ползучесть бетона в условиях двухосного сжатия // Бетон и железобетон. 1990. №11. С.13-14.
5. Кириллов А.П., Кукуш А.Л., Багрий Э.Я., Завялов В.Н. Особенности нелинейного деформирования бетона при высоких уровнях напряжения сжатия в условиях сложного напряженного состояния // Бетон и железобетон. - 1992. - № 8. - С. 4-6.
6. Jordaan I.J., Illston J.M. The creep of sealed concrete under multiaxial compressive stress. - Magazine of Concrete Research. v.21. - 1969. - p.p. 195-204.
7. Enrico Papa, Alberto Taliercio, Elena Gobbi Triaxial creep behavior of plain concrete at high stresses: A survey of theoretical models // Materials and Structures/Matбriaux et Constructions, Vol. 31, August-September 1998, pp 487-493.

УДК 666.9:338.49
67.01.11: Общие вопросы строительства. Современное состояние и перспективы развития

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ: ИНДИКАТОРЫ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

Акулова Инна Ивановна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
д-р экон. наук, доц., профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций, akulovaii@yandex.ru

Славчева Галина Станиславовна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
д-р техн. наук, доц., профессор кафедры технологии, строительных материалов, изделий и конструкций, gslavcheva@yandex.ru

На современном этапе экономического развития инновации рассматриваются как движущая сила в обеспечении технологического суверенитета РФ. Но, несмотря на государственное стимулирование инновационной деятельности, выражающееся в возмещении расходов на НИОКР, грантовой поддержке, ускорении процесса коммерциализации нововведений, текущая реальность в промышленности строительных материалов характеризуется сохранением на большинстве предприятий отрасли базовых, во многом устаревших, технологий, а также отказом от инвестирования в собственные интеллектуальные активы. В этом проявляется определенный инновационный парадокс, состоящий в разрыве между внедряемыми стимулами и уровнем ответной реакции на них [1 –3].

В качестве системных причин, ограничивающих инновационную активность производителей строительных материалов, выступают двойственность в управлении отраслью (Минстрой России и Минпромторг РФ), отставание нормативной базы, тесная взаимосвязь со строительством, характеризующимся высокой степенью технологической инерционности, а также консерватизм и слабая мотивированность административно-управленческого персонала в ввиду продолжительного жизненного цикла строительной продукции (Рисунок 1) [4].

Для купирования сложившейся негативной ситуации с последующим наращиванием темпов и объемов инновационной деятельности в промышленности строительных материалов предприятия отрасли должны обладать соответствующим инновационным потенциалом, который рассматривается сегодня не просто как наличие активов, а как способность конвертировать их в конкурентное преимущество [5].

В качестве цели настоящей работы выдвигается конкретизация сущностного понимания инновационного потенциала предприятия и разработка методики расчета его уровня с учетом особенностей промышленности строительных материалов (Рисунок 2).

В рамках проведенного исследования на основе литературного обзора осуществлена идентификация категории «инновационный потенциал» предприятия промышленности строительных материалов (Рисунок 3), выделены факторы, обусловливающие формирование и развитие инновационного потенциала (Рисунок 4), предложена архитектура методики его оценки, включающая перечень и схемы расчета индикаторов. Номенклатура индикаторов сформирована на основе внутренних факторов и с учетом требований формы статистической отчетности № 4 – Инновации. (Рисунки 5, 6а, 6б, 7) [6 – 13].

Путем экспертного анализа выявлено, что собственные исследования и испытательная база (НИР и опытное производство) формируют ядро инновационного прорыва предприятия.

Для определения уровня инновационного потенциала (УИП) разработана диагностическая шкала его оценивания с выделением значений, соответствующих зонам лидерства, стабильности, риска и стагнации (Рисунок 8). Проведенная апробация предложенной методики для шести производителей строительных материалов, изделий и конструкций Воронежской области, в состав которых вошли четыре региональных лидера, показала, что УИП ни одного из них не достигает даже среднего значения и у большинства находится в зоне стагнации

Результаты исследования представляют практический интерес для региональных органов управления, руководителей предприятий и инвесторов для анализа степени финансовых рисков (Рисунок 9).

Разработанная методика оценки инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов может быть использована для других отраслей национальной экономики при дополнении перечня предложенных индикаторов специфическими показателями, отражающими отраслевые особенности [14].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-18-20051, https://rscf.ru/project/24-18-20051/

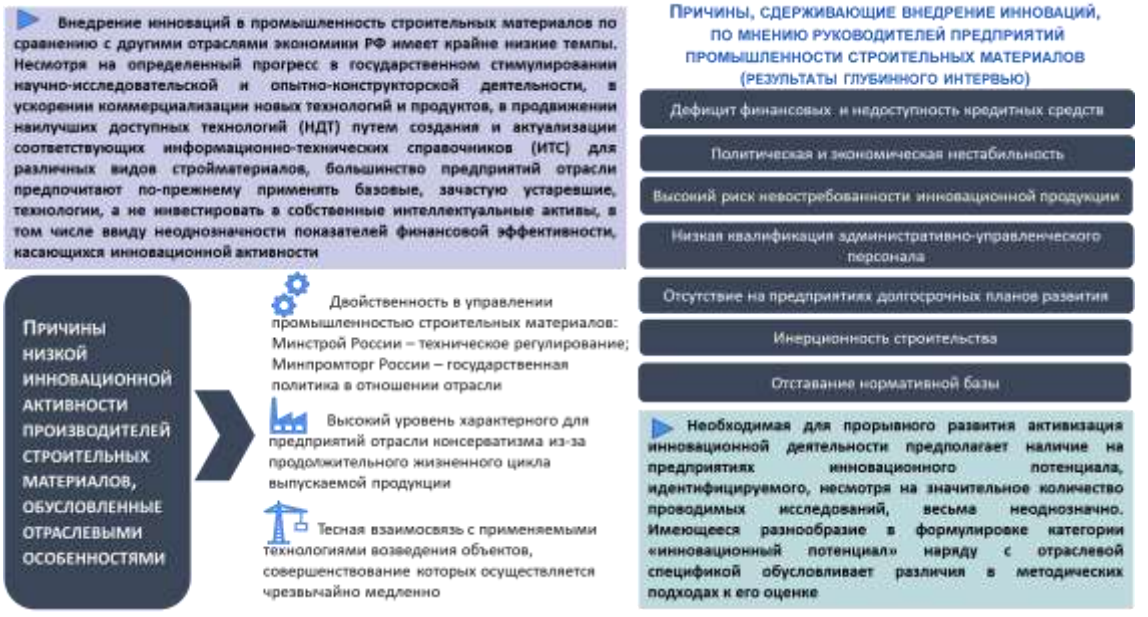


Рисунок 1 – Постановка проблемы исследования



Рисунок 2 – Цель и основные задачи исследования



Рисунок 3 – Идентификация категории «инновационный потенциал» предприятия промышленности строительных материалов



Рисунок 4 – Экосистема факторов, обусловливающих формирование и развитие инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов



Рисунок 5 – Формирование системы индикаторов оценки инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов

Индикатор оценки и его сущность	Схема расчета индикатора	Критерий оценки
Уровень производственно-технического потенциала отражает степень прогрессивности применяемых технологий и состояние основных производственных фондов	$УП_{пт\,j} = 0{,}22 \cdot \frac{K_{физ}^{с\,тех\,min}}{K_{физ\,j}^{с}} + 0{,}21 \cdot \frac{Ф_{в\,j}}{Ф_{в}^{max}} + 0{,}2 \cdot \frac{Д_{акт\,j}}{Д_{акт}^{max}} + 0{,}2 \cdot \frac{K_{прг\,j}}{K_{прг}^{max}} + 0{,}17 \cdot \frac{K_{сов\,j}}{K_{сов}^{max}}$ где $K_{физ}^{с\,тех\,min}$ – минимальное значение коэффициента физического износа по сроку службы из группы предприятий; $K_{физ\,j}^{с}$, $Ф_{в\,j}$, $Д_{акт\,j}$, $K_{прг\,j}$ и $K_{сов\,j}$ – значения соответственно коэффициента физического износа по сроку службы, фондовооруженности труда, доли активной части ОПФ, коэффициента прогрессивности технологий и соотношения коэффициентов обновления и выбытия j – того предприятия; $Ф_{в}^{max}$, $Д_{акт}^{max}$, $K_{прг}^{max}$ и $K_{сов}^{max}$ – максимальные значения соответственно фондовооруженности труда, доли активной части ОПФ, коэффициента прогрессивности технологий и соотношения коэффициентов обновления и выбытия из группы обследуемых предприятий	Значение $УП_{пт\,j} > 0{,}75$ соответствует высокой степени соответствия производственно-технического потенциала современному уровню технологического развития
Коэффициент обеспеченности интеллектуальной собственностью в сфере технологий показывает, насколько предприятие обеспечено уникальной интеллектуальной собственностью в виде патентов, лицензий и пр.	$K_{ис} = \frac{С_{и}}{А_{вн}}$ где $С_{и}$ – интеллектуальная собственность, р.; $А_{вн}$ – внеоборотные активы, р.	Значение $K_{ис} \geq 0{,}1$ соответствует высокому уровню обеспеченности предприятия интеллектуальной собственностью
Уровень обновления номенклатуры продукции отражает долю вновь освоенной или модернизированной продукции в общем объеме выпущенной продукции за последние три года	$УО_{нп} = \frac{Q_{н}}{Q_{общ}}$ где $Q_{н}$ – объем произведенной за последние 3 года новой и модернизированной продукции, нат. ед.; $Q_{общ}$ – общий объем выпущенной продукции в течение последнего 3-х-летнего периода, нат. ед.	Чем ближе значение $УО_{нп}$ к 1, тем выше уровень обновления продукции

Рисунок 6а – Система индикаторов оценки инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов

Индикатор оценки и его сущность	Схема расчета индикатора	Критерий оценки
Число зарегистрированных объектов интеллектуальной собственности, принадлежащих предприятию, и (или) используемых по лицензионным договорам характеризует возможность для привлечения финансовых средств, поиска партнеров, повышения имиджа и рыночной стоимости предприятия	Оценивается по фактическому количеству объектов интеллектуальной собственности	Чем больше количество объектов интеллектуальной собственности ($К_{инт}$), тем выше вероятность привлечения финансовых ресурсов со стороны, деловая репутация и рыночная стоимость предприятия
Наличие отдела научно-исследовательских работ (НИР) характеризует возможность предприятия самостоятельно осуществлять научные исследования по совершенствованию технологий, продукции и пр.	Оценивается по факту наличия или отсутствия	Индекс $I_{НИР}$ =1 обеспечивает формирование интеллектуальной собственности предприятия при минимуме затрат
Наличие опытного производства характеризует возможность реализации достижений научно-технического прогресса на промышленной базе предприятия	Оценивается по факту наличия или отсутствия	Индекс $I_{оп}$ =1 обеспечивает внедрение научно-технических достижений при минимальных затратах
Объем НИОКР, финансируемых предприятием, характеризует возможность предприятия привлекать к научным разработкам, направленным на упрочнение своей конкурентной позиции на рынке, сторонние организации	Оценивается величиной финансовых затрат на хоздоговорные и иные исследовательские работы сторонним организациям	Чем выше значение $Р_{НИОКР}$, тем больше возможность повышения конкурентоспособности предприятия при взаимодействии со сторонними научно-исследовательскими организациями

Рисунок 6б – Система индикаторов оценки инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов (продолжение)

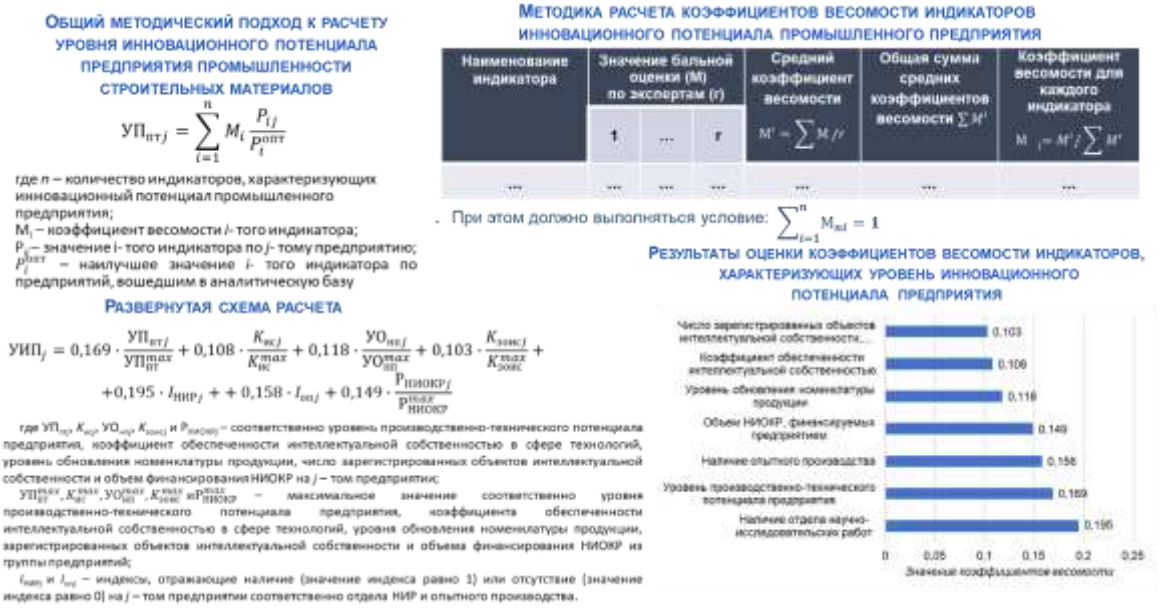


Рисунок 7 – Архитектура методики оценки инновационного потенциала промышленного предприятия

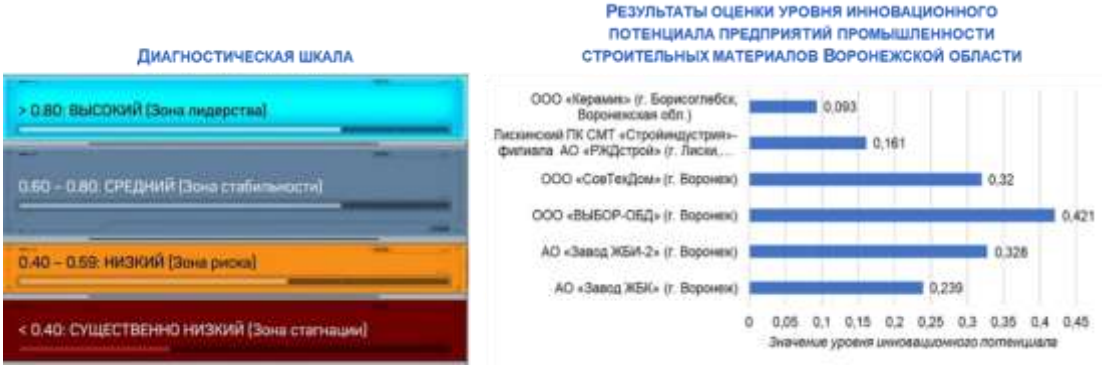


Рисунок 8 – Диагностическая шкала и результаты оценки инновационного потенциала предприятий промышленности строительных материалов

\



Рисунок 9 – Практическая значимость результатов исследования

Список использованных источников

1. Фурсов В.А., Лазарева Н.В. Повышение инновационного потенциала как фактор развития предприятий промышленного комплекса // Экономика и предпринимательство. 2021. № 8 (133). С. 1278 – 1282.
2. Акулова И.И., Славчева Г.С., Бабенко Д.С. Индекс инновационности как критерий уровня новизны строительных материалов и изделий // Строительные материалы. 2025. № 8. С. 64 –74.
3. Кортов С.В., Терлыга А.Ф. Анализ инновационной активности высокотехнологичных предприятий России // Экономика и предпринимательство. 2020. № 9 (122). С. 1415 – 1420.
4. Акулова И.И., Чернышов Е.М. Проблемы, методология и стратегия управления развитием производственной базы регионального жилищно-строительного комплекса // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. № 7. С. 82–84.
5. Szklarz P. Innovators performance measurement Evidence based on intellectual assets utilization of enterprises in Poland. Procedia Computer Science. 2023. № 225. P. 1514–1523.
6. Пушкарева М.В., Зубкова О.В. Методика оценки и анализа инновационного потенциала промышленного предприятия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Экономика и менеджмент». 2023. № 17(3). С. 108–121.
7. Календжян С.О., Коркин М.А. Направления развития инновационного потенциала предприятий промышленного комплекса // Управление. 2024. № 12(3). С. 5–13.
8. Исоков А.А., Фомичева Е.И. Методы оценки инновационного потенциала предприятия //Российский экономический интернет-журнал. 2024. № 2. С. 18. Режим доступа: https://www.e-rej.ru/upload/iblock/018/1k2ij2q8aplgva35yjfosapyk6ie2mnb.pdf
9. Асташова Е.А., Погребцова Е.А., Дурнев С.И. Инновационный потенциал предприятия: сущность, содержание и методика оценки // Креативная экономика. 2022. № 16 (3). С. 925–940.
10. Макаркин Н.П., Корнеева Н.В., Родькина И.И., Славкина Я.С. Оценка инновационного потенциала российских предприятий и повышение его эффективности // Управленческий учет. 2021. № 7(1). С. 109 – 118.
11. Синькова Ю.Н. Теоретико-методологические аспекты оценки инновационного потенциала и инновационной активности предприятия // Научные исследования и разработки. Экономика. 2018. № 6 (1). С. 60–65.
12. Устинова Л.Н., Сиразетдинов Р.М. Инновационный потенциал предприятия: сущность, структура, оценка // Российское предпринимательство. 2017. № 18 (23). С. 3751–3764.
13. Brodny J., Tutak M. Assessing the level of innovativeness and digitalization of enterprises in the European Union States. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2024. № 10. P. 100210.
14. Акулова И.И., Уварова С.С., Славчева Г.С., Бабенко Д.С. Идентификация и оценка инновационного потенциала предприятия промышленности строительных материалов // Экономика промышленности. 2025. Т. 18. № 4. С. 574–590.

УДК 332.85
67.25.03Теоретические и научные основы районной планировки и градостроительства

ТЕОРИЯ ПОКОЛЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАПРОСА НА ЖИЛЬЕ

Леденева Галина Леонидовна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», канд. архитектуры, профессор кафедры архитектуры и градостроительства, профессор
e-mail: ledeneva27@yandex.ru

Аннотация. Размышления о проблемах жилищного строительства сегодня все чаще идут в русле обсуждения теории поколений. Кто покупает жилье? Каков образ жизни современного человека? Какой формат жилья мог бы удовлетворить его потребности? Сколько нужно строить жилья и в каких границах стоимости? В этих размышлениях формируется заказ для архитектора, который должен предлагать решения на десятилетия вперед.

Существуют сторонники и противники теории поколений, однако сложно отрицать тот факт, что потребности, а вместе с ними и предпочтения современного человека в запросе на жилье, изменились. В докладе раскрывается суть проблемы, отношение автора к ней. Анализируется отечественный и зарубежный опыт внедрения теории поколений в практику современного жилищного строительства, а также предложения начинающих архитекторов, которые пытаются размышлять о проблеме «изнутри».

Ключевые слова: перспективы жилищного строительства, теория поколений.

Теория поколений (Нил Хау и Уильям Штраус, 1991 г.) - концепция, согласно которой люди, родившиеся в определённый период. Имеют схожие ценности, убеждения и модели поведения. Общие черты формируются под влиянием исторических событий, технологического прогресса, социальных норм и культурных ценностей эпохи.

В контексте недвижимости – помощь риелторам и застройщикам в понимании потребностей разных возрастных групп, в адаптации коммуникации, продукта и инфраструктуры под их ожидания.



КРИТИКА ТЕОРИИ:

- УСЛОВНОСТЬ ГРАНИЦ
- МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА
- РИСК СТЕРЕОТИПИЗАЦИИ
- ИГНОРИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЦЕННОСТЕЙ
- КУЛЬТУРНАЯ, РЕГИОНАЛЬНАЯ ВАРИАТИВНОСТЬ
- НЕДОСТАТОК ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ
- ПРАКТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

ПРАКТИКА:

- В МАРКЕТИНГЕ И ПРОДАЖАХ (АДАПТАЦИЯ СТРАТЕГИИ ПРОДВИЖЕНИЯ ЖИЛЬЯ С УЧЕТОМ ПОКОЛЕНЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ)
- В ПРОДВИЖЕНИИ АРЕНДНОГО ЖИЛЬЯ
- ПРИ ВЫБОРЕ (СОЗДАНИИ) ПЛАНИРОВКИ, ОТДЕЛКИ, СРЕДЫ
- С УЧЁТОМ ЖИЗНЕННОГО СЦЕНАРИЯ (ДОХОД, РЕГИОН, ОВРАЗОВАНИЕ, СЕМЕЙНЫЙ СТАТУС
- ПРОЧИЕ ФАКТОРЫ





СТРУКТУРА (ПОТРЕБНОСТИ) СЕМЬИ В ДОРЕВОЛЮЦИОННЫЙ И СОВЕТСКИЙ ПЕРИОД В РОССИИ

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

БЭБИ-БУМЕРЫ



Города и деревни для пожилых с медцентрами, гольф-клубами, клубами по интересам и пр. инфраструктурой.

«Возрастные» ипотечные программы с учётом пенсионных накоплений. Программы субсидированного жилья для пенсионеров с обслуживанием (уборка, доставка еды).

Доступная среда (безбарьерные решения), тихие и зелёные районы, компактное жильё (проще ухаживать) с умными системами мониторинга здоровья (датчики падения, автоматические оповещения врачам).

Развитие концепции «старение на месте» (aging in place) — адаптация жилья под нужды пожилых без переезда, реконструкция старых домов с установкой лифтов, пандусов, поручней и т.д.



https://www.booking.com/



https://finance.rambler.ru/realty/

ПОКОЛЕНИЕ X



Ориентация на семейные форматы жилья, близость к хорошим школам, низкие коммунальные расходы и возможность создания семейных воспоминаний.
Планировки «на вырост» — комнаты, которые можно переоборудовать из детской в кабинет.
Развитие пригородов с хорошей транспортной доступностью и инфраструктурой для семей.
Популярность «ремонтных пакетов» (застройщик предлагает несколько вариантов отделки на выбор).
Программы trade-in: обмен старого дома на новый с доплатой.
Развитие концепций «дом-офис» с отдельными входами для бизнеса.
Строительство комьюнити с коворкингами и переговорными комнатами для фрилансеров.



Modern Green Social Housing



МИЛЛЕНИАЛЫ



Микроапартаменты (30–40 кв.м.) с умной планировкой и общими зонами (коворкинги, спортзалы).

Арендные сервисы all-inclusive: в стоимость входят уборка, интернет, коммунальные услуги.

Приложения для жильцов с бронированием зон отдыха, заказом услуг.
экологичность проектов.

Компактные квартиры с трансформируемой мебелью.

Интеграция с экосистемой Samsung SmartThings для управления домом.

Развитие коливингов для молодых специалистов с общими кухнями и зонами отдыха.

Экологичное жильё с солнечными панелями и системами сбора дождевой воды.

Концепция «15-минутного города» — всё необходимое в пешей доступности.
Совместные проекты с кооперативами: жильцы участвуют в проектировании домов и др.

ЗУМЕРЫ



Цифровые шоурумы с VR-турами по квартирам (маркетинг).

Квартиры с предустановленными системами «умный дом» и голосовым управлением.

Социальные пространства с Wi-Fi 6 и зонами для стриминга.
Аренда через приложения с подписками на разные локации (меняй квартиру каждый месяц).

Жильё с нулевым углеродным следом, сертифицированное по стандартам LEED.

Кохаузинг-проекты с общими мастерскими, огородами, кинотеатрами.
NFT-квартиры: цифровое владение недвижимостью с возможностью перепродажи на блокчейне.

Интерактивные фасады с AR-эффектами.

Роботизированные услуги в жилых комплексах (доставка дронами, роботы-уборщики).

Недвижимость с современными технологиями, небольшие квартиры с возможностью быстрой перепродажи. Акцент на визуальный облик и близость к модным локациям.

АЛЬФА



ЗАРОЖДАЮЩИЕСЯ ТРЕНДЫ

Дистанционное управление домом («умная среда»).

Клабхаузы в пространстве ЖК, коворкинги, воркаут-площадки, велнес- центры.
Вместо кухни – вендинговые автоматы в лобби, курьерская доставка, зеленые зоны для работы на природе и т.д.. Баланс между работой и жизнью.

Каршеринг + жильё: пакетные предложения с доступом к автопарку, «изба-шеринг».
Устойчивость, поддержка экологических привычек (велосипед вместо авто, раздельный сбор мусора, зелёные сертификаты на квартиры (LEED, BREEAM) как конкурентное преимущество.

Программы компенсации углеродного следа при переезде.
Вторичное использование материалов в отделке и др..
«Третье место» - домашняя платформа для самовыражения и социализации.

УСПЕШНЫЕ КОМПАНИИ НЕ ОГРАНИЧИВАЮТСЯ
ПОКОЛЕНЧЕСКИМ ПОДХОДОМ, А КОМБИНИРУЮТ ЕГО С:
ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ (КЛИМАТ, ТРАДИЦИИ);
ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ (ДОХОДЫ, НАЛОГИ);
ЛОКАЛЬНЫМИ ТРЕНДАМИ (НАПРИМЕР, СПРОС НА «УМНЫЕ ДОМА» ВЫШЕ В АЗИИ, ЧЕМ В ЕВРОПЕ).

МОТИВАЦИЯ

Успешное применение теории поколений в зарубежных странах связано с несколькими факторами:

Развитый рынок недвижимости с высокой конкуренцией, что вынуждает компании сегментировать аудиторию и адаптировать предложения.

Высокий уровень цифровизации, позволяющий эффективно использовать данные о поведении разных поколений и внедрять технологические решения (VR-туры, онлайн-бронирование, электронный документооборот).

Культурная и социальная осознанность, которая побуждает учитывать поколенческие ценности при планировании инфраструктуры и услуг.

Исследовательская база: в западных странах активно проводятся социологические и маркетинговые исследования, которые помогают уточнять и адаптировать теорию поколений под текущие реалии.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ВЫШЕ В ПРОВИНЦИАЛЬНЫХ ГОРОДАХ



ТЕНДЕНЦИИ

- СРЕДА ДЛЯ УДАЛЕННОЙ РАБОТЫ;
- СРЕДА ДЛЯ ОБЩЕНИЯ (ВОЗМОЖНОСТЬЮ ФОРМИРОВАТЬ СООБЩЕСТВО, СОВМЕСТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ);
- СРЕДА СБЕРЕЖЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ (РЕКРЕАЦИИ, СПОРТ, ПРИВАТНОЕ ПРОСТРАНСТВО НА СВЕЖЕМ ВОЗДУХЕ И ПРОЧ.);
- СРЕДА ЦИФРОВЫХ ИНТЕРЕСОВ («УМНЫЙ ГОРОД, БЕСКОНТАКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ И ПРОЧ.);
- СРЕДА ДЛЯ РАЗВИТИЯ, СОЗИДАНИЯ, ИНТЕРЕСА;
- СРЕДА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНТЕНТА (ФОТОГИЕНИЧНОСТЬ КАК ФОРМА СОЦИАЛИТЗАЦИИ) И ДР.

СРЕДА ВОЗМОЖНОСТЕЙ

ОПЫТ В РОССИИ (г. ЕКАТЕРИНБУРГ)

МКР «НИКОЛЬСКИЙ»







МКР «СВЕТЛОЕ»




г. МОСКВА. КЛУБНЫЕ ДОМА

«ДОМ СПОРТА»





Однокомнатные

19

«КУТУЗОВСКИЙ»




«LOGOS»



ОТ ЭЛИТАРНОСТИ -
К СПЕЦИАЛИЗАЦИИ





Список использованных источников:

1. Леденева, Г. Л. Актуальные задачи градостроительной практики / Г. Л. Леденева // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы XI Международной научно-практической конференции. Направление конференции «Вызовы, стратегии и решения комплексного развития территорий», Тамбов, 28–29 мая 2025 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2025. – С. 20-23. – EDN KMEDFQ.

2. Кравчук, Е. И. Социальные аспекты клубного дома: общение и взаимодействие / Е. И. Кравчук, Г. Л. Леденева // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы XI Международной научно-практической конференции. Направление конференции «Вызовы, стратегии и решения комплексного развития территорий», Тамбов, 28–29 мая 2025 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2025. – С. 93-94. – EDN GBOVSG.

СЕКЦИИ

1. АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО В ЭПОХУ ЦИФРОВЫХ ИННОВАЦИЙ.

2. СРЕДОВОЙ, ПРОМЫШЛЕННЫЙ И КОММУНИКАТИВНЫЙ ДИЗАЙН

УДК 711.438 Малые сельские населенные пункты. Деревни. Хутора
67.25.23 Реконструкция и восстановление городов и населенных мест

СОВРЕМЕННАЯ ДЕРЕВНЯ В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ: ИСТОРИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ

Аметов Даниил Константинович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
ametov.danill@yandex.ru

Леденева Галина Леонидовна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», канд. архитектуры, профессор кафедры архитектуры и градостроительства, профессор
ledeneva27@yandex.ru

Цифровая эпоха заставляет по-новому смотреть на роль и место деревни в XXI веке. Чтобы оценить масштаб изменений, важно обратиться к историческому контексту развития сельских территорий в России.

Если провести анализ эволюции деревни начиная с XVIII века, можно увидеть, что тогда она представляла собой самодостаточные угодья со своей экосистемой. Чаще всего такие поселения были ориентированы на внутреннее потребление и бартерную экономику, а их ключевая функция заключалась в обеспечении продовольствием растущих городов. В этот период деревни фактически выступали ядром экономической системы Российской империи, формируя основу аграрного сектора.

В революционный период и последующие десятилетия произошли кардинальные изменения: началась индустриализация и механизация сельского хозяйства. Ручной труд постепенно заменялся машинами, что повысило производительность, но одновременно запустило процессы урбанизации. Массовая миграция населения в города в поисках работы на промышленных предприятиях привела к значительному оттоку жителей из деревень.

Этот процесс затронул и локальные производства: многие мануфактуры, существовавшие в сельской местности и перерабатывавшие местную продукцию, закрылись либо перенесли свои мощности в пригороды и промышленные зоны, где было больше доступных рабочих рук. Однако некоторые предприятия сумели сохранить свою деятельность на протяжении десятилетий.

Яркий пример — декстриновый завод в местечке Лучки, который просуществовал до 2005 года. Основанный в 1860 году купцом Первушиным, он специализировался на производстве декстрина, используя сельскохозяйственную продукцию местных жителей в качестве сырья. Это был показательный пример коллаборации: на базе деревни создавалось локальное производство, которое не только обеспечивало потребности местного населения, но и экспортировало продукцию на рынки ближайших городов.

Рассмотрим потенциал трансформации деревни на частном примере развития местечка Лучки в XIX веке. Когда купец И. А. Первушин приобрёл здесь имение, населённый пункт был малочисленным – всего несколько домов. Однако предприниматель начал активно развивать территорию:

- построил корпус декстринового завода;
- открыл школу;
- возвёл усадьбу заводчика;
- создал лесопилку;
- организовал механическую мастерскую;
- запустил электростанцию;
- установил водонапорную башню;
- обустроил сопутствующую инфраструктуру.

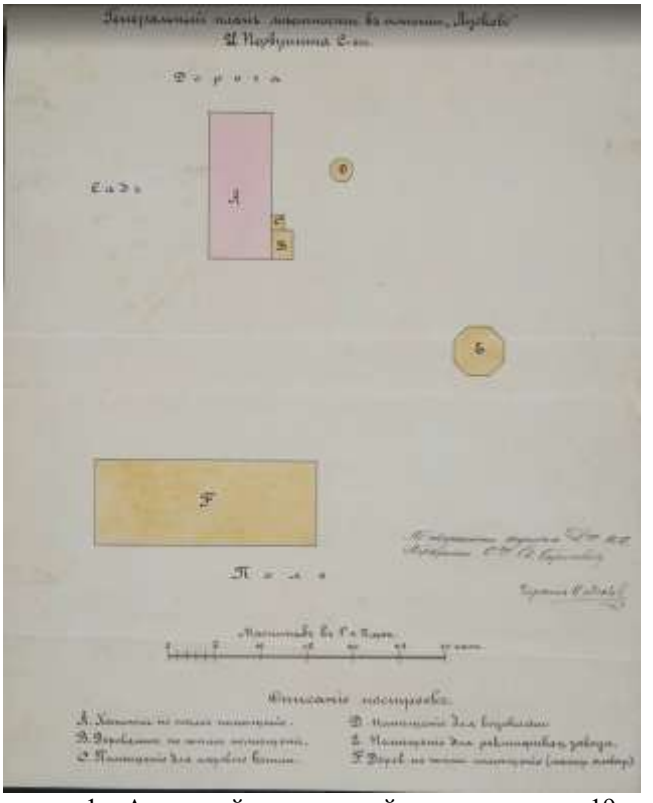


Рисунок 1 – Архивный генеральный план местности 19 век

Этот период стал отправной точкой развития поселения. Жители не только получили современное производство и рынок сбыта для своей продукции, но и доступ к новым благам цивилизации: электричеству, водоснабжению, образованию. Развитие инфраструктуры включало также строительство моста через реку Нерль — на тот момент она была достаточно широкой, что позволяло вывозить продукцию водным путём. Для этих целей был сооружён пирс, который упростил логистику и расширил рынки сбыта.



Рисунок 2 – Декстриновый завод в период Российской империи XIX век

Таким образом, декстриновый завод стал образующим предприятием посёлка. Жизнь местных жителей качественно изменилась: из отсталой деревни поселение превратилось в развивающееся имение с устойчивой экономикой и социальной инфраструктурой. Изначально завод размещался в одном деревянном корпусе площадью 500 м

В период индустриализации советского периода, начиная с 1930-х годов, декстриновый завод в местечке Лучки претерпел существенную модернизацию, отразившую общие тенденции промышленного развития страны. К существующему производственному комплексу был пристроен новый корпус, благодаря чему общая площадь помещений увеличилась до 2500 м2. Это расширение не только привело к росту объёмов выпускаемой продукции и увеличению спроса на сырьё у местного населения, но и создало значительное количество новых рабочих мест, что оказало положительное влияние на социально-экономическое положение региона. Механизация производства потребовала привлечения специалистов новых профессий — наладчиков оборудования, электриков, техников и других квалифицированных кадров, что способствовало формированию более сложной и диверсифицированной структуры занятости в селе.

В ходе модернизации некоторые элементы прежней инфраструктуры утратили актуальность и были демонтированы. Так, мазутохранилище, ранее обеспечивавшее работу предприятия, оказалось ненужным в связи с переходом на иные виды топлива, а электростанция на основе водяного колеса прекратила существование после того, как село было подключено к единой энергосистеме страны. Эти изменения стали частью общего процесса индустриализации: они символизировали переход от локальных, автономных систем энергообеспечения к централизованным решениям, характерным для советской экономики. Одновременно с развитием завода в селе был создан местный совхоз, что существенно изменило структуру экономического поведения жителей: сельское хозяйство стало более организованным, появились новые формы кооперации между фермерами и промышленным предприятием. Дом заводчика был переоборудован в контору завода, а общежития для рабочих, сохранившиеся вблизи производства, продолжали выполнять свою функцию, обеспечивая жильём сотрудников. Благодаря этим преобразованиям предприятие сохранило востребованность на советском рынке и функционировало вплоть до распада Советского Союза практически без существенных изменений в структуре производства.

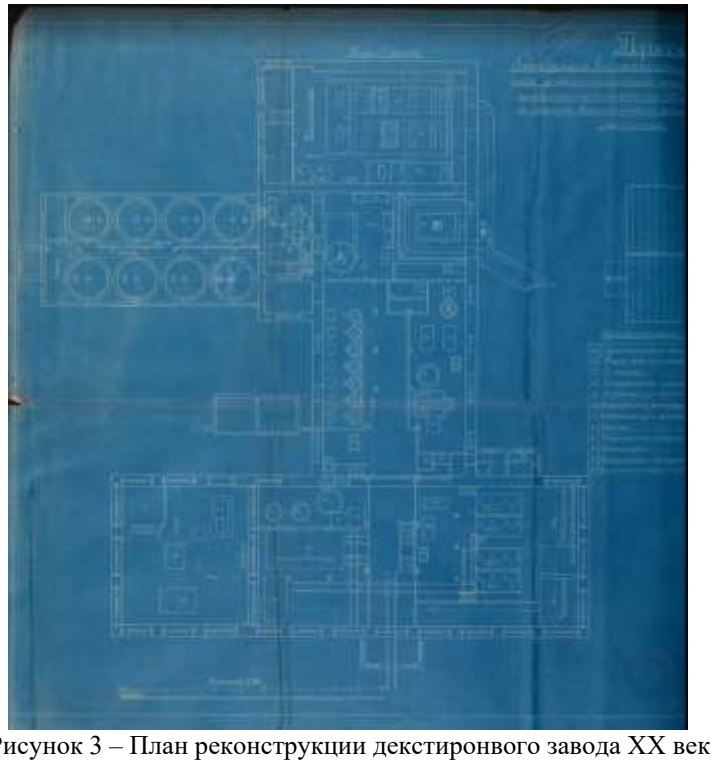


Рисунок 3 – План реконструкции декстиронвого завода XX век

Период 1990-х годов стал для завода временем серьёзных испытаний. После приватизации собственности предприятие оказалось в сложной экономической ситуации: прежние механизмы управления и сбыта перестали работать, а адаптация к новым рыночным условиям требовала значительных инвестиций и кардинальной перестройки бизнес-процессов. Несмотря на попытки

сохранить производство, завод просуществовал лишь до 2005 года, после чего был закрыт. С этого момента начался процесс постепенного разрушения некогда процветающего промышленного комплекса. Основной корпус лишился кровли, стены начали ветшать, а оборудование было демонтировано или вынесено мародёрами. Территория завода пришла в запустение, а контора бывшего предприятия также оказалась заброшенной. До наших дней сохранились лишь фасады зданий, обильно украшенные резными элементами, — молчаливое напоминание о былом процветании местечка. Деревня утратила свой производственный статус и превратилась в вымирающее село: основное население составляют пожилые люди, занимающиеся личным подсобным хозяйством, а инфраструктура сократилась до минимума — в деревне функционируют лишь два магазина.

Современное развитие сельских территорий напрямую связано с национальными интересами России и рассматривается через призму государственного развития, комплексного освоения территорий и принципов устойчивого развития. При этом перед деревнями по-прежнему стоят традиционные задачи: обеспечение занятости населения, развитие сельскохозяйственного производства, поддержание социальной инфраструктуры и сохранение человеческого капитала. Однако ситуация остаётся неоднозначной: многие сельские поселения продолжают терять население, а высокий темп оттока молодёжи приводит к старению деревни и деградации территорий. В то же время наметились и позитивные тенденции: среди молодого поколения наблюдается глобальный тренд на миграцию в обособленные районы, что обусловлено высокой стоимостью жизни в мегаполисах, эмоциональным выгоранием от городской суеты и несовершенством городской среды. Особую привлекательность для таких переселенцев приобретают районы с полным доступом к необходимой инфраструктуре — включая медицинское обслуживание, развитое сообщество, возможности для досуга и развлечений, а также условия для сохранения высокого уровня заработка, в том числе посредством дистанционной работы.

Деревня в этом контексте начинает восприниматься как перспективный формат проживания, сочетающий преимущества природной среды с базовыми элементами современной инфраструктуры. Уже есть примеры успешных преобразований: некоторые сельские поселения не только остановили процесс вымирания, но и перешли в фазу активного роста, формируя новые модели жизнеустройства. Так, посёлок программистов в Слободском районе Кировской области стал центром притяжения для IT-специалистов, желающих сочетать удалённую работу с жизнью на природе. Творческий посёлок «Деревня», возведённый по проекту команды дизайн-завода Flacon в 125 км от Москвы по Минскому шоссе, привлекает художников, дизайнеров и музыкантов, создавая среду для креативного взаимодействия. Жилой квартал «Квадро» демонстрирует возможности комплексной застройки с учётом современных требований к сельской инфраструктуре. Эти примеры показывают, что при грамотном подходе и государственной поддержке сельские территории способны стать центрами притяжения для разных социальных групп, предлагая альтернативу городской жизни без отказа от её ключевых преимуществ.

Территория Лучек заслуживает более масштабного осмысления — не как пространство, ориентированное исключительно на узконаправленные высококвалифицированные специальности, а как многофункциональный комплекс, способный стать настоящей точкой притяжения для самых разных групп населения. Ключевая задача при этом заключается в бережном сохранении культурного и исторического предназначения места, которое обладает значительным потенциалом для интеграции в современную экономику через новые форматы развития. Идея создания на территории бывшего декстринового завода современного туристического кластера с собственным производством представляется особенно перспективной: она позволяет не только дать новую жизнь историческим постройкам, но и вписать их в актуальную повестку развития внутреннего туризма в России.

Архитектурный облик завода, выполненный в кирпичном стиле XIX века, вместе с прилегающими постройками и деревянной усадьбой, обильно украшенной резными элементами, обладает самостоятельной культурной и эстетической ценностью. Эти объекты способны привлечь туристов, интересующихся историей промышленного зодчества, региональной архитектурой и наследием российской провинции. Сохранившиеся формы исторической застройки создают уникальную атмосферу, которая в эпоху стандартизации и типовой застройки приобретает особую ценность — она даёт возможность прикоснуться к прошлому, ощутить связь времён и увидеть, как выглядели промышленные поселения в период своего расцвета.



Рисунок 4 – Современный вид декстринового завода.

Значительная площадь территории, включающая основной корпус завода площадью 2500 м2, вспомогательные помещения и прилегающее пространство, открывает широкие возможности для создания многофункциональной площадки, способной выполнять самые разные функции. Здесь можно организовать проведение частных, корпоративных и культурных мероприятий — от семейных торжеств и профессиональных встреч до фестивалей, ярмарок и исторических реконструкций. Такая площадка способна стать центром притяжения не только для местных жителей, но и для гостей из соседних регионов, формируя сообщество по интересам, а не по территориальному принципу. Это особенно важно в условиях современной трансформации сельских территорий, когда традиционные связи ослабевают, а на смену им приходят новые формы объединения людей вокруг общих ценностей, увлечений и проектов.

Производственный потенциал территории также может быть задействован с учётом современных реалий. Складские помещения и механическая мастерская, переоборудованные под небольшое производство местной фирменной продукции, способны стать основой для развития локальных брендов. Здесь можно наладить выпуск экопродуктов, сувениров, изделий народных промыслов или гастрономических специалитетов региона — например, фермерских сыров, мёда, травяных чаёв, керамики или деревянных изделий с традиционной резьбой. При этом производство может носить не только экономический, но и туристический характер: посетители смогут наблюдать за процессом создания товаров, участвовать в мастер-классах, приобретать готовую продукцию напрямую у производителей. Такой подход позволит совместить коммерческую эффективность с просветительской и культурной функциями, усиливая привлекательность места для широкой аудитории.

В контексте современной деревни цифровой эпохи, которая всё чаще приобретает характер обособленных сообществ, нацеленных не столько на традиционное аграрное производство, сколько на создание комфортного и устойчивого места для жизни, проект туристического кластера в Лучках может стать моделью успешного преобразования. Он отвечает глобальным трендам на экологичность, аутентичность и осознанное потребление, предлагая альтернативу городской суете без полного отказа от удобств и возможностей современной инфраструктуры. Развитие такого кластера способно не только оживить территорию, но и создать новые рабочие места, привлечь молодых специалистов и семьи, заинтересованные в жизни на природе, а также укрепить локальную идентичность и гордость жителей за своё место. В конечном счёте это может привести к формированию устойчивой экосистемы, где историческое наследие органично сочетается с инновационными подходами к развитию сельских территорий, открывая новые перспективы для Лучек и подобных им поселений.

Список использованных источников:

1. Аверкиева, К. В. Сельская джентрификация в российском Нечерноземье / К. В. Аверкиева // Вестник Московского университета. Серия 5: География. — 2022. — № 6. — С. 119–128. — DOI: 10.55959/MSU579-9414-5-2022-6-119-128.
2. Нефедова, Т. Г. Сельская Россия на перепутье: географические очерки / Т. Г. Нефедова. — Москва : Новое издательство, 2003. — 408 с.
3. Саушкин, Ю. Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика / Ю. Г. Саушкин. — Москва : Мысль, 1973. — 559 с.
4. Трейвиш, А. И. Город, район, страна и мир: развитие России глазами страноведа / А. И. Трейвиш. — Москва : Новый хронограф, 2009. — 376 с.
5. О стратегическом планировании в Российской Федерации : Федеральный закон от 28.06.2014 № 172-ФЗ (ред. от 13.07.2024) // Собрание законодательства РФ. — 2014. — № 26 (ч. I). — Ст. 3378.
6. Об утверждении Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года : распоряжение Правительства РФ от 02.02.2015 № 151-р (ред. от 13.01.2017) // Собрание законодательства РФ. — 2015. — № 6. — Ст. 980.
7. Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» : утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам от 04.06.2019 № 7.

УДК 711.4:502.131.1
67.25.19: Планировка и застройка городов и населенных мест. Города и городские агломерации

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗВИТИЮ МАЛЫХ ГОРОДОВ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Анюхина Валерия Витальевна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», магистрант
e-mail: valeriy@anyuhina.ru

Золотухина Яна Алексеевна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», старший преподаватель кафедры «Проектирование зданий и сооружений им. Н.В. Троицкого»
e-mail: yana_zolotuhiny@mail.ru

Куликов Сергей Александрович,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», аспирант
e-mail: sergi.kulikov@mail.ru

Введение

Малые города (в российской классификации - с населением до 50 тыс. человек) занимают заметное место в урбанизированном пространстве России и стран СНГ. Они поддерживают территориальный каркас, сохраняют культурно-историческое наследие [1]. Но на фоне глобализации и концентрации ресурсов в крупных агломерациях малые города сталкиваются с целым рядом проблем. Это устойчивая депопуляция, старение населения, зависимость от одного-двух градообразующих предприятий, отток молодежи и специалистов, ветшающая инфраструктура, снижение качества жизни.

Традиционные методы развития - попытки затянуть крупные индустриальные инвестиции - чаще всего не работают. Чтобы выйти из этого тупика, многие города начинают адаптировать принципы устойчивого развития [2]. Речь идет о сбалансированном движении сразу по трем направлениям: экономика (рост доходов и занятости), социальная сфера (качество жизни, справедливость), экология (сохранение природы). Для малого города это означает не просто выживание, а выстраивание новой модели, опирающейся на собственные ресурсы, повышение привлекательности для жизни и устойчивую местную экономику [3].

Теоретико-методологические основы устойчивого развития малых городов

Устойчивое развитие для малого города уже не абстрактная идея - это практическая рамка для управления. Ее суть применительно к малому городу раскрывается через несколько взаимосвязанных принципов [4].

Первый - баланс. Нельзя развивать экономику за счет экологии или социальной сферы: новое производство не должно ухудшать жизнь горожан и окружающую среду. Второй - долгосрочность. Стратегии нужны на 15–20 лет вперед, с оглядкой на будущие поколения, а не на сиюминутную выгоду. Третий - опора на внутренние ресурсы: человеческий капитал, культурное наследие, ландшафт, локальную идентичность. Четвертый - участие местных сообществ: жители, бизнес, НКО должны влиять на решения, тогда и преобразования будут более осмысленными и устойчивыми. И наконец, мышление системой: город - не набор проблем, а единая, открытая, взаимосвязанная структура. Только синтез этих принципов позволяет перейти от точечных улучшений к целостной модели.

На рисунке показано, чем отличается традиционная модель роста малого города от устойчивой: вместо линейной экстенсивной логики предлагается циклическая, адаптивная и человеко-ориентированная.

Ключевые современные подходы к развитию малых городов. Экономический подход

В экономике главное – снизить системные риски, создав разнообразную, но внутренне связанную экосистему. Для этого отказываются от зависимости от одного-двух заводов и комбинируют несколько стратегий.

Первая - «умная» специализация (опыт ЕС). Ресурсы не распыляют, а концентрируют там, где у города есть реальное конкурентное преимущество. Для исторического городка с наследием - это может быть туризм и реставрационные технологии. Для города в аграрном регионе - глубокая переработка местного сырья, органические продукты.

Вторая - креативная экономика [5]. Малые города часто не используют свой потенциал в дизайне, ремеслах, IT, контенте. Создание креативных кластеров на базе пустующих промзон привлекает молодежь, дает новые рабочие места и оживляет городскую среду.



Рисунок - Сравнительная модель традиционной и устойчивой модели развития малого города

Третья - циркулярная экономика (замкнутые циклы). Вместо «сделал - использовал - выбросил» - переработка и повторное использование. Для небольшого города, который близок к ресурсам и потокам отходов, это снижает нагрузку на природу и создает новые бизнес-модели.

Как меняется экономика - показано в таблице.

Социальный подход

Устойчивость немыслима без человеческого капитала. Значит, нужно делать город привлекательным для жизни всех поколений. Это достигается несколькими способами.

Во-первых, реальное вовлечение жителей. Не просто формальные слушания, а софинансирование проектов, работа общественных советов, соуправление. Когда инициатива идет от сообщества — она лучше отвечает реальным нуждам.

Во-вторых, развитие человеческого капитала: коворкинги, центры молодежного творчества, непрерывное образование. Отдельно стоит социальное предпринимательство - оно дает устойчивые бизнес-модели для ухода за пожилыми, инклюзивных рабочих мест и других задач, которые не решает ни рынок, ни государство.

Таблица

Сравнение традиционной и новой экономических моделей

Критерии	Традиционная модель	Устойчивая модель
Основа экономики	1-2 градообразующих предприятия	Множество МСП, включая креативные и социальные предприятия
Уровень риска	Высокий (кризис предприятия = кризис города)	Диверсифицированный, средний
Связь с территорией	Слабая (ресурсы/рынки часто внешние)	Сильная (основанная на локальном потенциале)
Инновации	Замкнуты на основном производстве	Распространены в разных секторах, включая низкотехнологичные
Экологический след	Высокий	Стремится к минимальному

В-третьих, качественная среда [6]. Не масштабная стройка, а тактический урбанизм: благоустройство набережных, скверов, пешеходных зон, велоинфраструктура, точки притяжения для досуга. Принципы «зеленого» строительства и энергоэффективности становятся нормой при модернизации жилья и общественных зданий.

Экологический подход

Для малого города экология может стать не ограничением, а конкурентным преимуществом. Для этого нужна не разрозненные акции, а целостная система экологического менеджмента.

Важно сохранить и развивать «зеленый каркас»: парки, скверы, бульвары, речные долины, пригородные леса. Это поддерживает биоразнообразие, дает места для отдыха и улучшает микроклимат [7].

Следующий шаг - энерго- и ресурсоэффективность. От модернизации уличного освещения до внедрения возобновляемых источников (например, солнечные панели на общественных зданиях) и «умного» ЖКХ, которое снижает потери воды и тепла [8].

И, конечно, обращение с отходами. Раздельный сбор и переработка - лучше на межмуниципальном уровне — превращают расходы в возможный доход и снижают нагрузку на полигоны. Замыкаются локальные циклы, появляются новые рынки для малого бизнеса.

Инструментарий и механизмы перехода к устойчивому развитию

Одних идей мало - нужны рабочие инструменты.

Основа - хорошая стратегия. Комплексная стратегия развития малого города [9] должна быть «живым» документом, связанным с региональными и национальными целями.

Далее - проектный подход. Цели превращаются в портфель конкретных проектов. Финансирование - смешанное: бюджет, гранты (в том числе национальные проекты), государственно-частное партнерство [10].

Технологический катализатор - «умный город» в облегченной версии. Не дорогие всё-охватные системы, а точечные решения: онлайн-платформы для бюджетирования, карты проблем, цифровые гиды по наследию, электронные услуги.

Наконец, межмуниципальное сотрудничество. Несколько городов и сел вместе могут сделать то, что каждому поодиночке не под силу: общий туристический кластер, совместное предприятие по переработке отходов, единый бренд территории.

Выводы

Развитие малых городов на основе устойчивого развития - это не набор отдельных мер, а общая философия управления на перспективу. Современные подходы смещают акцент с внешней индустриализации на мобилизацию своих ресурсов: людей, наследия, идентичности, экологии.

Успех напрямую зависит от того, насколько местная власть перестанет быть пассивным администратором и начнет создавать условия для бизнеса, НКО и самих жителей. Нужны проектные компетенции, умение привлекать внебюджетные деньги и выстраивать диалог с сообществом.

«Умная» специализация, креативные индустрии, соучаствующее планирование, качественная и комфортная среда — все это части новой модели, которая способна превратить малые города в устойчивые, привлекательные и живые центры локального развития. Путь не быстрый, но он создает прочный фундамент для будущих поколений - а это и есть суть устойчивого развития.

Список использованных источников

1. Ситнова А.А. Малые города России: социально-экономическое развитие и управление: монография. – М.: КноРус, 2019. – С. 212.
2. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию (утверждена Указом Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440) // Собрание законодательства РФ. – 1996. – № 15. – С. 1572.
3. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2026 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р) // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: http://publication.pravo.gov.ru (дата обращения: 15.12.2025).
4. Прокшиц Е.Е., Проскурин Д.К., Сотникова О.А. Внедрение принципов устойчивого развития в жизненный цикл университетского кампуса// Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2024. - № 2(56). – С. 22 - 32.
5. Пилясов А.Н. «Умная специализация»: новая региональная политика для периферийных территорий России // Региональные исследования. – 2015. – № 2 (48). – С. 4–17.
6. Федеральный проект «Формирование комфортной городской среды» (в рамках национального проекта «Жилье и городская среда») // Минстрой России. – [Электронный ресурс]. – URL: https://minstroyrf.gov.ru/trades/gorodskaya-sreda/ (дата обращения: 15.12.2025).
7. Жидко Е.А., Чесноков А.С. Роль и место полигонов ТБО в эколого-экономической системе инфраструктуры городского хозяйства// Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2025. - № 1(59). – С. 126 - 136.
8. Цифровая экономика Российской Федерации: национальная программа // Правительство Российской Федерации. – [Электронный ресурс]. – URL: http://government.ru/rugovclassifier/863/events/ (дата обращения: 15.12.2025).
9. Методические рекомендации по разработке и реализации стратегий социально-экономического развития муниципальных образований (утв. Минэкономразвития России 31.03.2021 № 7922-АФ/Д03и).
10. Национальные проекты России: официальный сайт // Правительство Российской Федерации. – [Электронный ресурс]. – URL: https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/ (дата обращения: 15.12.2025.

УДК 711.417 Города-сады. Новые города. Города-спутники

АДАПТИВНЫЕ ОБЩЕСТВЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВА ГОРОДА: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Волкова Людмила Александровна,
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», кандидат архитектуры, заведующий кафедрой проектирования городской среды
e-mail: l.a.v.2701@mail.ru

Финадеева Елена Анатольевна,
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», кандидат технических наук, директор архитектурно-строительного института
e-mail: asi.oreluniver@mail.ru

Современные города сталкиваются с множеством вызовов: рост населения, изменения климата, технологические инновации и изменения социальных запросов. В связи с этим возникает необходимость разработки общественных пространств, способных гибко адаптироваться к меняющимся условиям и социальным предпочтениям. В статье рассматриваются концептуальные основы понятия адаптивных общественных пространств, их принципы и критерии.

Городские пространства являются важной частью городской инфраструктуры. Традиционно городские парки и скверы, бульвары, площади и набережные воспринимались как статичные объекты — пространства и зоны, предназначенные для строго определённых функций: мест встреч, прогулок, отдыха, проведения культурных мероприятий и обмена социальным опытом. С развитием урбанистики и стремлением сделать городскую среду более динамичной, а функции разнообразнее, стало очевидно, что такие статичные пространства:

- не соответствуют меняющимся требованиям современного города: увеличению населения и уплотнению застройки, разнообразию культурных и социальных потребностей, новым формам досуга;

- демонстрируют низкую степень разнообразия функций: зоны и площадки, предназначенные для определённых целей, зачастую остаются пустыми при соблюдении своих статичных сценариев;

- ограничивают возможности для проведения разнообразных мероприятий: например, уличных фестивалей, торгово-выставочных мероприятий или спортивных событий;

- не интегрированы в городской ритм жизни, что снижает их привлекательность и эффективность использования.

Актуальным становится поиск оптимальных характеристик будущих средовых комплексов и систем, отвечающих запросам человека и общества, его физическим, технологическим, экономическим и интеллектуальным возможностям.

Методы исследования: обзор и анализ данных литературных источников по соответствующей проблематике, выявление и сравнительный анализ факторов, влияющих на формирование адаптивных общественных пространств, сценарное моделирование ситуации.

Приступая к пониманию процесса адаптации и свойства адаптивности городской среды, следует провести анализ данного явления в ряде исследований отечественных учёных последних десятилетий. Сапрыкина Н. А. выявляет особенности динамического формообразования в архитектуре и приёмы организации искусственной среды, использующие технологические инновации.[1] Этот труд оказал важное значение для развития отечественной науки по теме динамического формообразования. Панфилов А. В. в своих диссертационных исследованиях, посвящённых мобильному жилищу, определяет, что «адаптивность - приспособленность объекта к изменению или воздействию новых внешних или внутренних раздражителей, изменяющимся условиям функционирования». [2]

Несомненный научный интерес представляет диссертация Гагариной Е.С., где обосновывается необходимость в разработке теории адаптации как феномена в проектной культуре. Автор формулирует важнейшую задачу проектной культуры - формирование оптимальных условий для деятельности человека, поддерживающих его жизненные процессы. Иначе, либо требуется перестройка изначальных свойств человека (физиологические изменения его организма, менталитета, приспособления за счёт воспитания, обучения, оснащения «личным» оборудованием, одеждой и пр), либо материально-физическая трансформация системы этих условий, т.е. специального проектирования среды жизнедеятельности человека. Оба движения являются разными гранями единого явления - адаптации образа жизни человека к среде его жизнедеятельности. [3]

Примером реализации идеи адаптировать общественное пространства под различные сценарии может служить так называемый двор Музея модерна в г. Самара, где регулярно проходят различные мероприятия, связанные с архитектурным наследием, лекциями, выставками и культурными событиями. (Рисунок 1).

Из рисунка 1 видно, что на небольшом пространстве смена функционального и предметного наполнения происходит за счёт установки мобильных конструкций мебели - переносных стендов экспозиций во время проведения дневных выставок, удобных лежаков для слушателей лектория, организацию вечернего кинопоказа с оборудованием зрительской зоны стульями и установкой экрана.

Приведённые выше труды авторов, как и других исследователей, анализ примеров ряда реализованных практик формирования адаптивных общественных пространств позволяют сделать вывод о том, что под трактовкой адаптации среды понимается в основном - приспособление средового объекта или системы к особенностям конкретного процесса деятельности, образа жизни или к индивидуальным запросам потребителя.

Соответственно адаптивные общественные пространства — это многофункциональные, гибкие площадки, способные перестраиваться для различных целей, сценариев и групп пользователей. Они отличаются способностью легко менять свою конфигурацию, предназначаются для проведения массовых мероприятий, отдыха, коммерческой деятельности, культурных событий или спортивных соревнований.

Это концепция базируется на идее, что городские пространства не должны быть статичными — они должны быть гибкими, иметь потенциал для самоорганизации, адаптации к быстро меняющимся условиям.

Создание адаптивных общественных пространств опирается на следующие ключевые принципы:

1. Многофункциональность — совмещение различных сценариев эксплуатации на одном участке. Фактор смены времени суток в приёмах реализации этого принципа играет ключевую роль. Утро - активная фаза - на площадке возможно реализовать торговую ярмарочную функцию, день - наиболее активная фаза - спортивные игровые функции или коворкинг под открытым небом, вечер - спокойная фаза - пространство может адаптироваться под концертную площадку или кинопоказ. Схема смены сценариев использования общественного пространства представлена на рисунке 2.







Рисунок 1 - Общественное пространство двора музея Модерна в г. Самара [4 ,5, 6]



Рисунок 2 - Схема смены сценариев использования общественного пространства с трансформируемыми элементами

2. Гибкость планировки — использование модульных и универсальных мебельных систем и элементов, способных легко перестраиваться и переноситься, которые могут быть использованы для различных процессов, например, быть индивидуальными или групповыми сидениями, лежаками, выполнять функции одновременно и перегородок, и навесов, и пергол, и возможно, качелей. Эффективны технологии «подвижных» элементов, например, мобильные или сборно-разборные торговые павильоны, выдвижные полки, подъёмные покрытия, переносные сцены, экраны, ограждения и т.п. Многофункциональные платформы могут создавать условия для проведения различных мероприятий без необходимости существенной перестройки инфраструктуры.

3. Устойчивость и экологичность — использование экологичных материалов и технологий, минимизация негативных воздействий на окружающую среду. В строительстве появляются все более пластичные композиты, новые модульные конструкции, искусственные материалы, способные удешевлять процесс и расширять архитектурные возможности. Но на практике они упираются в старые барьеры. Идея может быть экстравагантной, но инженерные решения остаются консервативными. Причина проста — запрос на безопасность. Конструкция или сооружение должны не только стоять, но и не вредить.[5] Использование модульных конструкций и мобильных элементов позволяют менять конфигурацию пространства под сценарный запрос и количество участников процессов. И здесь требования экологичности, эргономичности и безопасности стоят наравне с потребительскими качествами.

Важен вопрос эксплуатационных качеств поверхностей и покрытий площадок. Выбор материала покрытий должен быть продиктован и потребностью категорий пользователей. Например, используемая в ряде реализованных проектов для детских или спортивных площадок экологичная щепа может иметь острые и не безопасные контуры фракций, со временем разлагаться в труху, маленькие дети могут проглотить мелкие элементы, что приведёт к неблагоприятным последствиям. Так как материал органический, этот факт влечёт за собой появление насекомых и даже грызунов. Предпочтение следует отдавать бесшовным резиновым покрытиям и песку.

4. Социальное взаимодействие и инклюзивность - способность общественного пространства быть доступным и дружественным, реагировать на меняющиеся потребности и обеспечивать комфорт для всех категорий пользователей, независимо от физических, социальных или культурных особенностей. Различное наполнение и трансформация создают площадки для диалога, обмена опытом и гражданской активности. Делая пространство более живым и вариативным, такие зоны делают городскую среду более комфортной и привлекательной. Адаптивные инклюзивные пространства объединяют разные группы жителей, создавая площадки для обучения, творчества и отдыха. Приёмы реализации - оборудованные зоны для взрослых и детей с ограниченными возможностями, сенсорные маршруты и специализированное игровое оборудование. Наличие безбарьерной среды, лифтов, широких проходов, адаптированных туалетов.

5.Технологические инновации - внедрение IoT-технологий для контроля и автоматизации трансформаций. Технологии обеспечивают автоматизированное управление, например, освещением, вентиляцией, акустикой. Использование умных систем с внедрением динамических LED-экранов и интерактивных элементов, позволяет менять облик пространства под различные мероприятия. Виртуальная и дополненная реальность даёт возможность проектировать сценарии трансформации пространства и тестировать их ещё до реализации.

6.Экономическая целесообразность - инвестиции в мобильные конструкции, модульные элементы и универсальные инфраструктурные решения оправдывают себя за счёт многократности использования, снижения нагрузки на инфраструктуру. Рассматриваемые принципы адаптивности общественных пространств включают идеи гибкого города, связанного с системным мышлением и концепцией smart city. Акцент делается на возможности постоянного изменения структуры городских пространств без значительных затрат и долгосрочных переустройств.

Таким образом, формирование адаптивных общественных пространств становится необходимой составляющей современной градостроительной политики. Внедрение принципов их формирования в практику проектирования будет способствовать:

- повышению эффективности использования городской среды: одно и то же пространство может обслуживать разные потребности, что особенно важно при ограниченности территории;
- поддержке устойчивого развития: гибкие пространства позволяют уменьшить потребность в дополнительных зонах, снизить затраты на строительство и обслуживание, уменьшить экологический след;
- созданию условий для инновационного развития: города, где пространство легко адаптируется, стимулируют креативность, экспериментирование с формами использования и типами деятельности.

Адаптивные общественные пространства — это ключ к развитию устойчивых и гибких городов

будущего. Их концептуальные основы основаны на принципах гибкости, модульности, многофункциональности, социального взаимодействия, инклюзивности, технологических инноваций и экономической целесообразности. Практические решения требуют инновационных материалов, технологий и подходов к управлению пространством. Для успешной реализации необходимо учитывать как теоретические основы, так и реальные сценарии эксплуатации, чтобы создать общественные зоны, способные изменяться и развиваться вместе с городом и его жителями.

Список использованных источников

1. Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре: учебное пособие/ Н.А.Сапрыкина.- М: Архитектура - С, 2005. — 312 с.
2. Панфилов А.В. Особенности формирования мобильного жилища для временного пребывания: конец XX - начало XXI века**:** специальность 05.23.20: автореферат диссертации … кандидата архитектуры/Панфилова, Александра Владимировича. Моск. архитектур. ин-т. Москва, 2013. - 29 с.
3. Гагарина Е.С. Принципы адаптивности архитектурной среды на примере общественных пространств города: специальность 05.23.20: автореферат диссертации … кандидата архитектуры/Гагариной Екатерины Сергеевны. -Москва, 2019. - 30 с.
4. Во дворе музея состоялась открытая лекция московского историка архитектуры Дениса Ромодина/Новости музея Модерна. – Текст : электронный. Дата публикации 08.09.2024. URL: https://samaramodern.ru/tpost/m9autax071-vo-dvore-muzeya-sostoyalas-otkritaya-lek
5. Во дворе Музея модерна состоится экскурсия по выставке "Самарский модернИЗМ" Сетевое издание «Информационный портал «Волга Ньюс». – Текст : электронный. Дата публикации 29.08.2024. URL:https://volga.news/article/721245.html
6. Во дворе Музея модерна покажут фильмы на французском/ Сетевое издание «Sobaka.ru». – Текст : электронный. Дата публикации 16.07.2019.URL:https://www.sobaka.ru/smr/entertainment/cinema/93199
7. Союз российских городов. Город как гибкая структура: как сосуществуют краткосрочные решения, стабильность и мобильность / / Совет муниципальных образований Хабаровского края – Текст : электронный: интернет-ресурс. – URL: https://cmokhv.ru/materials/mat20250719-m/?ysclid=mp2oehrvon284000786

УДК 711.4:72.03
67.01.09: История строительства и архитектуры. Персоналия

ИДЕАЛЬНЫЙ ГОРОД. КОНЦЕПЦИИ РАЗНЫХ ПЕРИОДОВ. ЧАСТЬ 1

Гришова Татьяна Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
член союза архитекторов России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: gta.62@mail.ru

Старкова Таисия Викторовна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
почетный архитектор России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: tstarkova1957@mail.ru

Овчинникова Анастасия Сергеевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
e-mail: nastya2004ow@gmail.com

Уварова Екатерина Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
e-mail: kat_uva09@inbox.ru

Аннотация. Данная статья посвящена историческому развитию концепций идеальных городов, отражающих стремление мыслителей разных эпох создать оптимальную среду для жизни и деятельности человека. В статье рассматриваются ключевые идеи и проекты античных городов, таких как утопический город Платона, Вавилон и Атлантида, а также города средневековья, представленные проектом Небесного Иерусалима. Особое внимание уделяется эпохе Возрождения и Просвещения, когда

возникли идеи симметрии, центровых планировок и градостроительных образцов. В XIX и XX веках развитие индустриализации, технологический прогресс и социальные перемены привели к появлению новых концепций, таких как город-сад Эбенезера Говарда, идеи Ле Корбюзье и принципиальные проекты по устойчивому развитию.

Ключевые слова: идеальные города, градостроительство, утопия, города будущего, социальные идеи.

Введение. Во все времена существовали мыслители, которые стремились создать идеальное пространство для жизнедеятельности человека, где бы каждый жил и работал комфортно и результативно. Такие концепции, именуемые «концепциями идеальных городов», ставили своей целью запроектировать универсальную структуру городской среды, которая включает в себя планировку, коммуникации, отношения и социальные роли, идеологию и законы.

Концепции разных периодов. В период античности одним из самых ярких примеров можно назвать утопический город Платона, который был описан в его философских трудах «Государство» и «Законы». Философ дает его общее композиционное описание, с объяснениями внутренней организации и уклада жизни. По описанию можно сделать вывод о наличии в городе системы водоснабжения и водоотведения, а также системы орошения и полива. Центральную роль в транспортной системе города имеет канал, который проходит через весь город и соединяет центральный остров с морем. В «Законах» Платон говорит о функциональном зонировании и о том, в городе дома лучше располагать в таком порядке, чтобы весь город представлял одну большую стену и имел облик единого здания (рис. 1).



Рисунок 1 – Идеальный город по Платону (Каллиполис), 380–370-х год до н. э.

Еще один античный философ, который рассуждает об оптимальной городской планировке – это Аристотель. Он предлагает сочетать регулярную («Гипподамову» систему) и нерегулярную планировки, что поможет придать городу большее разнообразие и красоту.

Витрувий не оставил прямых изображений, но его трактат послужил основой для графических интерпретаций, соединяющих греческие и римские градостроительные традиции.

Помимо прочего, примером идеального города можно назвать Вавилон – древний город в южной Месопотамии. Один из крупнейших городов в истории человечества и «первый мегаполис», известный символ христианской эсхатологии и современной культуры (рис. 2).

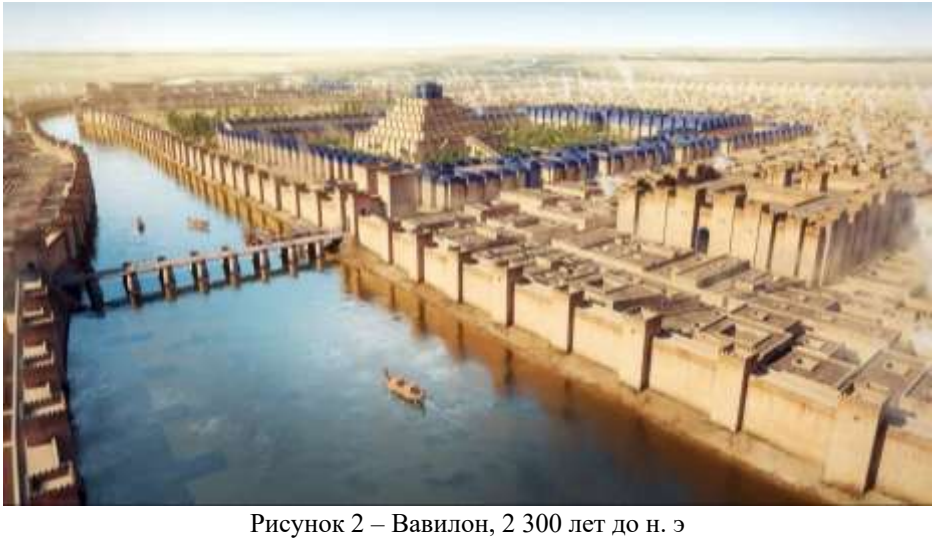


Рисунок 2 – Вавилон, 2 300 лет до н. э

Также стоит упомянуть известный город – легенду прошлого «Атлантида». Планировочная схема Атлантиды, описанная Платоном, представляет собой гармоничное сочетание природных элементов и архитектурных сооружений. Центральным элементом города является холм-акрополь, окруженный концентрическими кольцами воды и суши. Вода использовалась для защиты и судоходства, а земля для жилых районов, садов и храмов. Внешние части города включали порт, жилые кварталы, общественные здания и зеленые зоны. Окружающие реки и горы обеспечивали защиту и природные ресурсы (рис. 3).



Рисунок 3 – Столица Атлантиды со слов Платона, 360–350 годах до н.э.

В период средневековья взгляды меняются.

Средневековье – это время, когда Церковь вносила очень много запретов, идеологических ограничений, когда господствовали каноны, и не было свободы взглядов. Это, вероятно, стало причиной того, что в этот период не развивались концептуальные градостроительные решения, не было необходимости в каких-то радикальных переменах. Общество не было готово к таким переменам и довольствовалось тем, что имело в плане городского устройства, на фоне общего упадка городской культуры после распада римской империи. Идеальный город Средневековья – это Небесный Иерусалим (рис. 4). Общее описание Града Небесного представлено в Библии, в Откровении Иоанна Богослова.



Рисунок 4 – Небесный Иерусалим, Откровение Иоанна Богослова, 95–96 гг.

XV-XVI века – время географических и научных открытий. Эпоха Возрождения (XV–XVI века) – пик популярности идеи «идеального города», выраженный в концептуальных проектах с четкой геометрией, симметрией, центрической организацией и оборонительными стенами.

Значительный вклад внесли Антонио Липучини, Альбрехт Дюрер и другие архитекторы, которые создавали варианты круглых, квадратных и звездообразных городов.

Акцент на гармонии и иерархии пространств, отражение гуманистических идей эпохи (рис. 5).

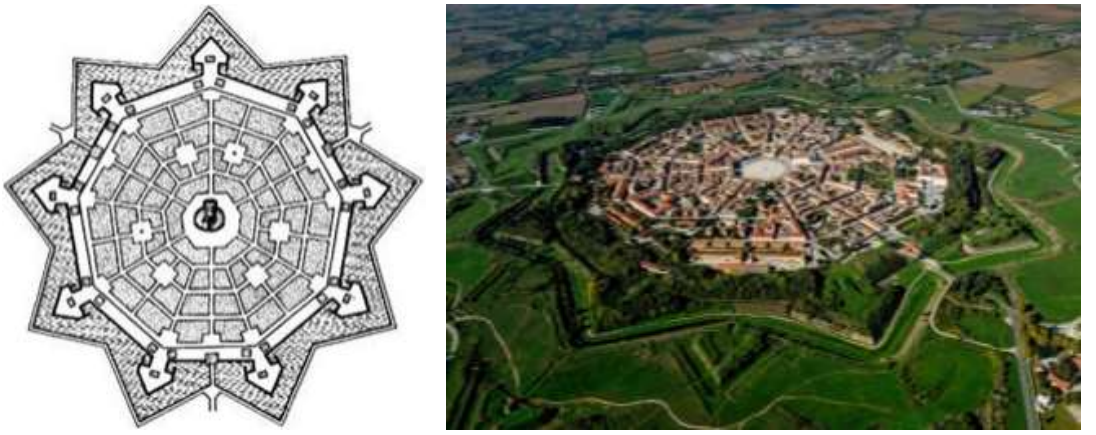


Рисунок 5 – Крепость Пальманова, Винченцо Скамоцци, 1593 г.:
схема плана крепости (слева); перспективный вид (справа)

В начале XVII века продолжаются традиции идеальных городов. В Германии и Франции появляются утопии «Христианополис», «Город истины», трактат Жака Перре. Возникновение более динамичных барочных мотивов, звездчатых фортификационных систем (рис. 6-7).

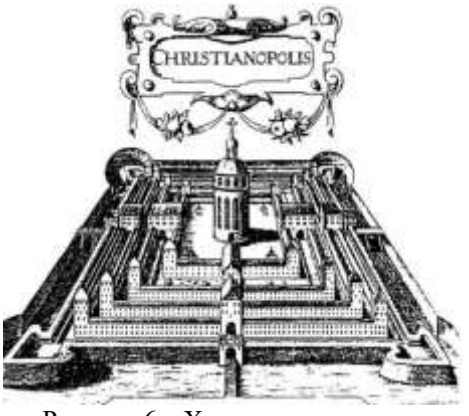


Рисунок 6 – Христианополис,
Иоганн Валентин Андреэ, 1619 г.



Рисунок 7 – Город истины, Бартоломео дель Бене,
1609 год

XVII-XVIII века – Эпоха Просвещения. В XVII-XVIII веках происходят научная революция и рационализм, что приводит к интеграции научных достижений в градостроительство, повышается внимание к техническому прогрессу. Развитие идеалистических городов, их детальное описание, описание социальных и технических аспектов, например, у Габриэля де Фуаньи и Дени Вераса, Клод-Николя Леду (рис. 8).



Рисунок 8 – Город Шо, Клод Николя Леду, 1773-1806 г.

XIX век – Эпоха Промышленных революций. В XIX веке наблюдается индустриализация и критика города. Крупные города стали восприниматься как перенаселенные и загрязненные анклавы. Социальные утописты (Роберт Оуэн, Сен-Симон, Фурье) предлагали альтернативные модели организации жизни и расселения, нацеленные на улучшение условий проживания и одинаково хорошее социальное благополучие всех жителей. Появление концепции коммун и новых структур расселения (рис. 9).

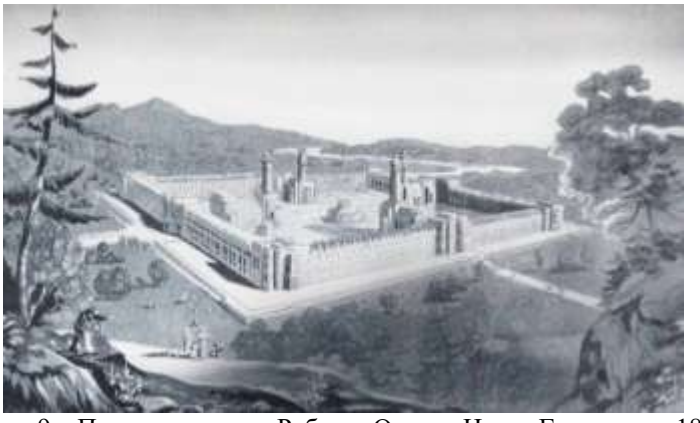


Рисунок 9 – Проект коммуны Роберта Оуэна «Новая Гармония», 1840 г.

XX век – город будущего и концептуальное проектирование. В XX веке возникает большой интерес к масштабным и революционным архитектурным проектам организации городской жизни. Стремительная урбанизация и технический прогресс подталкивает архитекторов, социологов и других мыслителей к созданию проектов идеальных городов. Старые районы не согласовывались с образом прогрессивного индустриального будущего и даже с образом настоящего, ассоциируемого с радио, автомобилями и самолетами. Нередко речь шла не просто о создании новых районов или городов, а о перестройке существующих, подразумевая разрушение старых построек. Возрастает влияние экологических и социальных проблем. Помимо функциональности и перспективности, актуальность приобрела идея симбиоза городской среды с природой.

1900-1910-е годы: начало городского планирования и идеи гармонии между городом и природой. Эбенизер Говард создает концепцию «Город-сад» – экологически ориентированный город с зеленой инфраструктурой и сельскохозяйственными зонами, интегрированными в городскую среду. Влияние прогрессивных движений, ориентированных на улучшение условий жизни в быстрорастущих индустриальных городах (рис. 10).

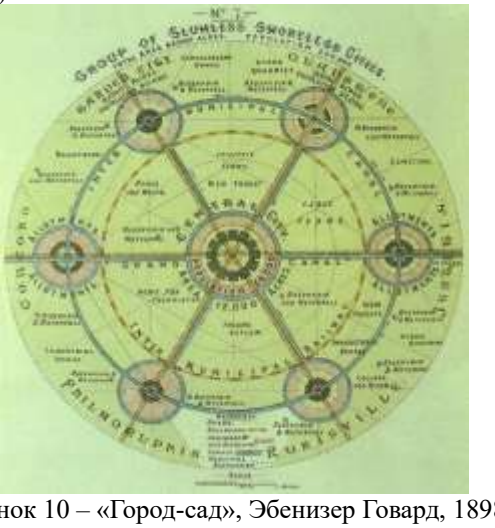


Рисунок 10 – «Город-сад», Эбенизер Говард, 1898 г.

1920-1930-е годы: модернизм и функционализм: появление идей Ле Корбюзье о создании города с четким разделением зон (жилая, промышленная, коммерческая). Создание проектов «городов-моделей» с массовым применением новаторских форм и планировочных решений. Акцент на автомобилизации и развитие дорожной инфраструктуры, что влияет на планировку (рис. 11).

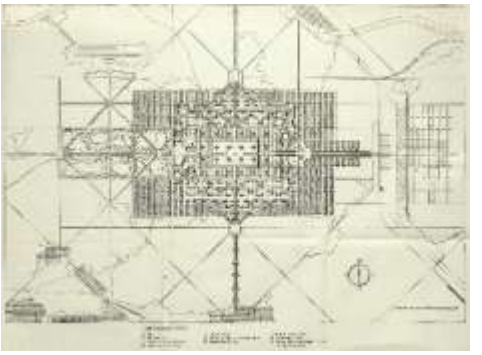


Рисунок 11 – Планировка «Современного города», Ле Корбюзье, 1933 г.

1940-1950-е годы: Вторая мировая война сильно изменила ландшафт городских построек, когда многие города и инфраструктура были разрушены. Население нужно было обеспечить дешевой жилплощадью, и в таких условиях не было ресурсов для заботы о эстетике и продуманной организации многих городов. Вместе с восстановлением разрушенного перед проектантами была поставлена задача по созданию такого городского пространства, которое могло бы развиваться в будущем.

Начинается экспериментирование с массивной массовой застройкой (панельные и бетонные жилые кварталы). Влияние идей Ле Корбюзье и других на создание экспериментальных жилых комплексов. Возникновение концепций «подразделений» и микрорайонов. Ле Корбюзье создал проект лучезарного города (рис. 12). В основе концепции лежит идея функционального зонирования города на несколько зон: жилую, промышленную, транспортную и рекреационную. Это позволило бы оптимизировать использование пространства.



Рисунок 12 – «Лучезарный город», Ле Корбюзье, 1930 г.

Внедрение зеленых пространств внутри жилых районов, как часть концепции гигиенического и экологического подхода к городскому планированию. Использование новых строительных технологий и материалов, таких как железобетон, стекло и стальные конструкции, что позволяло строить большие и функциональные здания. Некоторые проекты включали концепции идеально спланированных городов с оптимальной солнечной ориентацией и инновационной инфраструктурой.

1960-1970-е годы – освоение космоса, масштабные концепции расселения и урбанизации, критика чрезмерной автомобилизации и спроецированного разрастания городов. Разработка концепции «экологического города» и идеи устойчивого развития. Популяризация идеи «солнечных городов» и расширения зелени. Развитие идеи «живых городов» с комплексным учетом социальной инфраструктуры.

Происходит переосмысление города как компонента комплексной системы расселения, появляется концепция город-ячейка (рис. 13).

В XX веке появились и более смелые концепции идеальных городов, такие как летающий город. Эта идея возникла в фантастических произведениях и предполагала строительство городов в воздухе, что позволило бы освободить землю для сельского хозяйства и других целей. Идея возникла как ответ на проблемы, связанные с ростом населения, ограниченностью пространства и загрязнением окружающей среды (рис. 14).

Последующие планы уже можно называть проектами городов будущего, которые концептуально отличаются от идеальных городов.

Одной из самых известных концепций идеального «утопического» города в современности является градостроительный проект «Проект Венера» Жака Фреско.



Рисунок 13 – «Городская ячейка на 100 тыс. жителей с портом и складами», Эрик Глоэден, 1923 г.

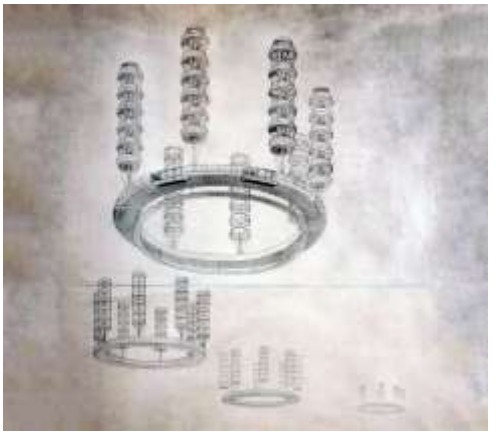


Рисунок 14 – «Летающий город», Георгий Крутиков, 1928 г.

В данной концепции основная идея состоит в том, что безопасные, энергоэффективные города будут населять образованные люди, взаимодействующие с киберсистемами, которые непрерывно мониторят все аспекты жизни общества и предоставляют информацию в реальном времени (рис. 15).



Рисунок 15 – «Проект Венера», Жак Фреско, 1985 г.

В настоящее время наблюдается изменение масштаба и подходов в градостроительстве. В итоге концепция «идеального города» трансформировалась в более сложное и системное понятие «города будущего», отражающее вызовы своего времени и включающее различные уровни технических, социальных и экологических аспектов.

Заключение

История идеи идеального города показывает, насколько важно создание комфортной, гармоничной и устойчивой среды для жизни человека. От античных утопий до современных концепций умных городов – все эти проекты отражают постоянное стремление человечества к совершенству и

необходимости адаптировать городскую среду к меняющимся социальным, технологическим и экологическим условиям. Каждая эпоха вносила свой вклад, формируя богатое наследие идей, которое служит базой для будущих решений. Сегодня, сталкиваясь с вызовами урбанизации, перенаселенности и экологических кризисов, важно помнить о принципах гармонии, устойчивости и инновативности, чтобы строить города будущего – умные, экологичные и ориентированные на человека. Исторический опыт показывает, что истинное понимание и уважение к этим идеям поможет сформировать образы городов, в которых будет радостно жить и работать не одно поколение.

Список использованных источников

1. Александра Кушнарева. Город-сад: как зародилась концепция Эбенизера Говарда [Электронный ресурс] // DEL'ARTE. – 14.01.2023. – Режим доступа: https://delartemagazine.com/architecture/gorod-sad-kak-zarodilas-koncepciya-ebenizera-govarda/ (дата обращения: 23.12.2025).
2. Вавилон [Электронный ресурс] // Азбука веры. – Режим доступа: https://azbyka.ru/vavilon#ch_0_3 (дата обращения: 23.12.2025).
3. В.В. Алексашина. Идеальный город в контексте философии, экологии, архитектуры [Электронный ресурс] // Вебсайт «Археотектура». – Режим доступа: http://www.stroymusey.ru/journal/idealcity.php (дата обращения: 23.12.2025).
4. Ле Корбюзье. Планировка города. Часть 2. Лабораторная работа [Электронный ресурс] // TEHNE. – 30.09.2023. – Режим доступа: https://tehne.com/event/arhivsyachina/le-korbyuze-planirovka-goroda-chast-2-laboratornaya-rabota (дата обращения: 23.12.2025).
5. Лучезарный город (план Вуазен) Ле Корбюзье [Электронный ресурс] // StudFiles. – 15.05.2015. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/3847965/page:31/ (дата обращения: 23.12.2025).
6. Мир архитектуры. Лицо города [Электронный ресурс] // Сайт памяти В.Л.Глазычева. – Режим доступа: https://www.glazychev.ru/books/mir_architectury/index.htm (дата обращения: 23.12.2025).
7. Наталия Овчинникова. Город, которого нет: какими представлялись идеальные города мыслителям разных эпох [Электронный ресурс] // Вокруг света. – 08.10.2022. – Режим доступа: https://www.vokrugsveta.ru/articles/gorod-kotorogo-net-kakimi-predstavlyalis-idealnye-goroda-myslitelyam-raznykh-epokh-id834920/ (дата обращения: 23.12.2025).
8. Небесный Иерусалим [Электронный ресурс] // Википедия. – 2025. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Небесный_Иерусалим (дата обращения: 23.12.2025).
9. Элькина Мария. Вчерашнее будущее архитектуры: город Шо [Электронный ресурс] // ArtElectronics.ru. – 11.09.2013. – Режим доступа: https://artelectronics.ru/posts/vcherashnee-buduschee-arkhitektury-gorod-sho (дата обращения: 23.12.2025).
10. infogod. Жизнь на небесах: как советский студент предложил идею создания летающего города [Электронный ресурс] // novate. – 11.02.2019. – Режим доступа: https://novate.ru/blogs/110219/49406/ (дата обращения: 23.12.2025).
11. Robert Kaufer. Проект Венера от Жака Фреско [Электронный ресурс] // Author.Today. – 23.12.2025. – Режим доступа: https://author.today/post/756216 (дата обращения: 23.12.2025).

УДК 711.4:72.03
67.01.09: История строительства и архитектуры. Персоналия

ИДЕАЛЬНЫЙ ГОРОД. ВЛИЯНИЕ КОНЦЕПЦИЙ РАЗНЫХ ПЕРИОДОВ НА СОВРЕМЕННОЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ЧАСТЬ 2

Гришова Татьяна Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
член союза архитекторов России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: gta.62@mail.ru

Старкова Таисия Викторовна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
почетный архитектор России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: tstarkova1957@mail.ru

Овчинникова Анастасия Сергеевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
e-mail: nastya2004ow@gmail.com

Уварова Екатерина Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
e-mail: kat_uva09@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматриваются основные концепции идеальных городов и их влияние на современное градостроительство. Анализируются исторические модели, такие как античные и ренессансные города, а также утопические идеи XVIII-XIX веков, заложившие основы организационной структуры современных зональных планировок. Особое внимание уделяется развитию экологически устойчивых и умных городов, таких как Телос, Сингапур и Амаравати, а также принципам экологичного дизайна, инновационным технологиям и участию граждан в управлении мегаполисами. Обсуждаются критерии идеального города будущего, включая экологическую устойчивость, транспортную инфраструктуру, социальное благополучие и эффективность планировки. Статья подчеркивает значение концепций идеальных городов для формирования гармоничных, комфортных и устойчивых городских пространств, отвечающих современным вызовам.

Ключевые слова: идеальные города, градостроительство, зеленые зоны, устойчивое развитие, умные города, качество жизни.

Введение. Города – это живые организмы, формирующиеся под влиянием культурных, технологических и экологических идей. Уже несколько столетий концепции идеальных городов вдохновляют архитекторов и планировщиков на создание пространств, гармонично сочетающих функциональность, красоту и устойчивость. От античных городских схем до современных экологичных мегаполисов – идеи о порядке, гармонии и заботе о природе остаются актуальными и сегодня. В эпоху технологического развития и глобальных экологических вызовов сформировались новые представления о том, каким должен стать город будущего.

Влияние концепций идеальных городов на современное градостроительство. Концепции идеальных городов оказали значительное влияние на современное градостроительство, формируя его теоретические основы, подходы к проектированию и принципы организации городской среды. Их воздействие можно рассматривать в нескольких ключевых аспектах:

1. Вдохновение и идеализация модели

Ключевые идеи градостроительства античности и эпохи Возрождения, выраженные в строгой геометрии и едином замысле, до сих пор служат источником вдохновения для современных проектов. В наши дни градостроители всё чаще прибегают к радиальным и решётчатым планировочным решениям. Кроме того, значительное внимание уделяется принципам пространственной организации: выделение функциональных районов – жилых, производственных и общественных – лежит в основе современных планов зонирования, обеспечивая комфортную и сбалансированную городскую среду для проживания.

2. Принцип утопической и рациональной планировки

Философские концепции об идеальном обществе послужили стимулом для проектирования городских поселений с повышенным уровнем комфорта. В результате появились проекты, предусматривающие наличие парковых зон, мест для коллективных встреч и ухоженных кварталов. Одновременно с этим, жажда к логичности и рационализации городской застройки ускорила развитие

современных систем жизнеобеспечения, эффективных транспортных сетей и городских инфраструктур, что способствовало обеспечению удобства и практичности для горожан (рис. 1).



Рисунок 1 – Современный город с зелеными зонами

3. Влияние на развитие общественной и экологической мысли

Критика промышленных мегаполисов послужила катализатором для формирования идей о «зелёных» и «умных» городах, а также о необходимости вплетения элементов природы в городские ландшафты. Целью этих концепций является улучшение уровня жизни горожан и смягчение пагубных последствий урбанизации, вызванной индустриализацией. В современной практике городского планирования широко применяются постулаты экологической устойчивости, включая увеличение площади зелёных зон, сокращение антропогенного воздействия на природу и внедрение энергосберегающих технологий. Истоки многих из этих методик восходят к утопическим видениям и представлениям о гармоничном сосуществовании человека и окружающей среды.

В настоящее время активно ведётся проектирование и строительство экологически чистых городов. Примером такого города служит Телос, США (рис. 2). Идея строительства города Телоса на огромной территории площадью более 60,7 тыс. га принадлежит предпринимателю Марку Лоре. Планируется, что этот мегаполис станет образцом для других в области устойчивого развития. При строительстве зданий в Телосе будут использоваться исключительно экологически безопасные материалы, город будет изобиловать зелёными насаждениями (рис. 3). Архитектурный проект предусматривает возведение внушительной башни в центре города, оборудованной смотровой площадкой, а вокруг неё будет разбит обширный парк. Система городского транспорта также будет соответствовать самым высоким экологическим стандартам.



Рисунок 2 – Город Телос, США



Рисунок 3 – Пример решения фасадов в Телосе

4. Технологические инновации и концепции «умных городов»

В контексте развития современных мегаполисов и коммунально-бытового сектора, концепция «умного города» предполагает создание упорядоченной, комплексной и поддающейся контролю городской среды. Эта идея перекликается с утопическими представлениями об идеальном обществе, где все элементы функционируют скоординированно и слаженно.

Примерами таких амбициозных проектов являются Сингапур, отдельные районы Китая, мексиканский Канкун, а также индийский город Амаравати.

Амаравати, расположенный на берегах реки Кришна, призван стать новой столицей штата Андхра-Прадеш. Разработкой генерального плана занимается известное бюро Foster + Partners. Город будет

спроектирован вокруг центрального правительственного здания, увенчанного острым шпилем, а более половины его центральной территории будет отдано под зеленые насаждения и водные объекты. Планируемая площадь Амаравати составит 217 квадратных километров, что позиционирует его как один из наиболее экологически чистых городов планеты (рис. 4).

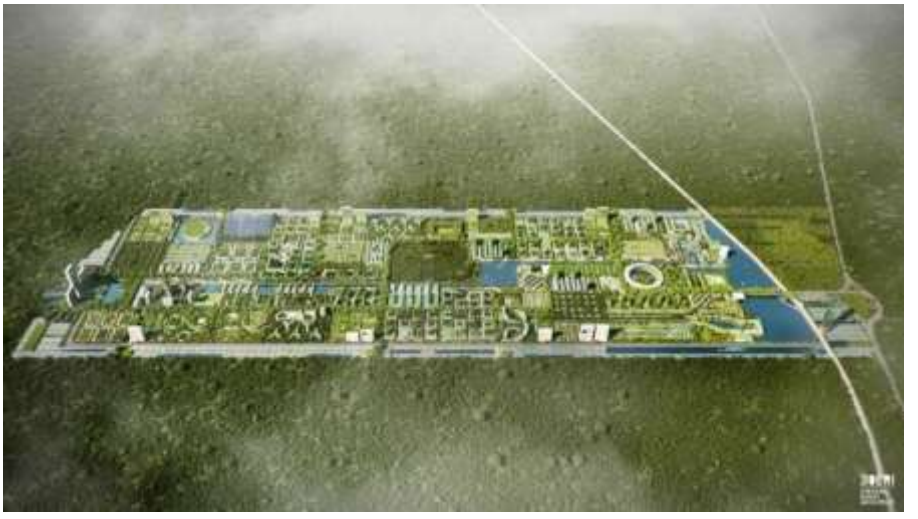


Рисунок 4 – Город Амаравати, Индия

5. Архитектурные и дизайн-подходы

Архитектурные принципы, включая геометрические формы, симметричность и зонированное или централизованное планирование, являются неотъемлемой составляющей концепции идеальных городских пространств, находящей своё воплощение в современных градостроительных подходах. Эти идеи сформировали фундамент для разработки принципов зонирования, эргономики и создания сбалансированной городской среды, стимулировав становление системного подхода к проектированию, развитие технологий и интеграцию принципов «зелёного» дизайна.

Современный город представляет собой сложное и многогранное сообщество, отвечающее разнообразным запросам своих обитателей. Его структура должна быть выстроена таким образом, чтобы гарантировать всем жителям комфортное и гармоничное сосуществование, одновременно создавая предпосылки для оптимального функционирования всей городской инфраструктуры.

Концепция современного идеального города и его характеристики. В основе концепции современного эталонного города лежат ответы на насущные социально-экономические, экологические и технологические вызовы. Целью является формирование благоприятной, ресурсосберегающей и функциональной среды, призванной обеспечить высокое качество жизни и продуктивность деятельности. Ключевые характеристики современного идеального города:

1. Экологическая устойчивость

– Применение возобновляемых энергетических ресурсов: солнечная, ветровая и геотермальная энергии;

– Минимизация выбросов парниковых газов и загрязнения атмосферы;

– Развитие концепции городского озеленения и поддержание биоразнообразия;

– Рациональное управление отходами (переработка, повторное использование);

– Водоэффективность и сохранение водных ресурсов.

Примером города со соблюдением экологической устойчивости является Сингапур (рис. 5).

Еще в 1990-х годах возникла концепция превращения города в «город-сад». Внедрялись «зеленые фасады», а эксплуатация зданий стала осуществляться с упором на экономию ресурсов. В свете нарастающей актуальности проблемы повышения температуры и изменения климата, Сингапур ставит амбициозную цель – стать «городом природы», достигнув климатической нейтральности в ближайшие годы. Для реализации этого видения был разработан и утвержден «Зеленый план 2030», в котором определены шаги по достижению поставленных целей. Среди ключевых мероприятий – посадка миллиона новых деревьев, существенное снижение потребления энергоресурсов и воды, а также восстановление деградированных территорий. Восстановление и интеграция природы в городскую среду – это центральная идея, воплощенная в парке Бишан-Анг Мо Кио, одном из знаковых проектов Сингапура, разработанном архитекторами Ramboll Studio Dreiseitl (рис. 6).



Рисунок 5 – Сингапур



Рисунок 6 – Парк Бишан-Анг Мо Кио

2. Инфраструктура и транспорт

– Развитая и доступная система общественного транспорта, включающая метрополитен, трамваи и электробусы;

– Поддержка альтернативных видов передвижения: велосипедные дорожки, пешие маршруты;

– Внедрение современных технологий управления движением для минимизации пробок и дорожно-транспортных происшествий;

– Создание инфраструктуры для электромобилей, в том числе сети зарядных станций.

3. Социальное благополучие и инклюзивность

– Обеспечение широкой доступности жилья, учитывая доходы различных категорий граждан;

– Развитая система медицинского обслуживания и качественное образование;

– Создание условий для безопасной и комфортной жизни;

– Инклюзивность – уважение к правам и равным возможностям каждого, в том числе лиц с особенностями здоровья и социально уязвимых групп;

– Поддержание культурного многообразия и организация общественных зон для взаимодействия.

4. Экономическая эффективность

– Создание рабочих мест и поддержка инновационного бизнеса;

– Внедрение передовых технологий и цифровых систем (концепция «умного города», интернет вещей (IoT));

– Укрепление местной промышленности и развитие устойчивой экономики.

5. Планирование и архитектура

– Рациональное и многофункциональное распределение зон, сокращающее потребность в дальних перемещениях;

– Продуманное архитектурное решение, учитывающее климатические особенности, удобство использования и визуальную привлекательность;

– Гибкость и адаптивность городской среды к различным изменениям (демографическим, климатическим, технологическим).

6. Управление и гражданское участие

– Эффективное управление городом (умные платформы для коммуникаций с жителями);

– Вовлеченность горожан в процессы принятия решений и формирования облика города;

– Применение передовых цифровых инструментов для наблюдения и оптимизации городских процессов.

7. Качество жизни и комфорт

– Высокий уровень доступности услуг (торговля, спорт, культура);

– Безопасность (низкий уровень преступности);

– Создание благоприятных условий для проживания, включающих оптимальное освещение и эффективную звукоизоляцию;

– Комплексная и многоуровневая поддержка граждан в рамках системы социальной защиты.

Копенгаген, столица Дании, заслуженно признан самым благополучным городом планеты с точки зрения социального развития. Город может похвастаться высокоразвитой транспортной системой, включающей наземные автобусы, водный транспорт и метро. Для велосипедистов создана максимально комфортная среда: обширная сеть велодорожек, совершенствующаяся на протяжении столетия, специализированные участки улиц, известные как «зеленые волны», и повсеместно установленные пандусы для удобства передвижения. Особое внимание уделяется экологическим инициативам и принципам вторичной переработки.

Все эти факторы в совокупности способствуют формированию концепции «идеального города». В наши дни наблюдается возрождение интереса к подобным идеям, при этом современные проекты наполняются новыми, актуальными подходами.

Примеры современных концепций «идеального города» будущего. Проект «The Line» задуман как новаторский ответ на проблемы современных мегаполисов, обычно разрастающихся от центра. Планируемая мегаструктура, которая протянется на 170 км по северо-западной части Саудовской Аравии, будет возвышаться на 500 метров при ширине всего 200 метров. В случае успешной реализации, это сооружение войдет в список 12 самых высоких зданий мира, став при этом самым протяженным.

Концепция города представляет собой единую прямую «линию», состоящую из двух соединенных мостами небоскребов, напоминающих стены, и открытого пространства между ними. Внутри зданий предполагается размещение жилых кварталов, торговых площадок, зон отдыха, образовательных учреждений и офисов, в то время как наружное пространство будет отведено под парковые зоны. Для создания неповторимой атмосферы проекта и слияния архитектуры с окружающей средой, строения планируется отделать зеркальными фасадами (рис. 7).



Рисунок 7 – Проект «The Line», Саудовская Аравия

Проект «BiodiverCity», разработанный командой BIG, представляет собой амбициозный план застройки территории площадью 1821 гектар. Реализация этого проекта предусматривает создание трех искусственных островов, которые будут соединены между собой системой автономного транспорта, исключающей использование автомобилей. Эти острова появятся у побережья острова Пенанг в Малайзии по заказу правительства штата.

Острова, напоминающие кувшинки, будут представлять собой многофункциональные зоны, включающие в себя общественные пляжи протяженностью 4,6 километра, парковые зоны площадью 242 гектара и живописную набережную длиной 25 километров. Прогнозируемая численность населения каждого острова составит от 15 000 до 18 000 человек. В строительстве планируется активно использовать натуральные и переработанные материалы: комбинации бамбука, малайзийской древесины и «зеленого бетона», в котором в качестве заполнителя используются переработанные материалы. Для сохранения и поддержки местной флоры и фауны вокруг каждого жилого массива будут созданы специальные экологические буферные зоны (рис. 8).



Рисунок 8 – Проект «BiodiverCity», Малайзия

С целью снижения нагрузки на стремительно разрастающийся Каир, Египет приступил к возведению совершенно нового городского образования. Проект «The Capital Cairo» предполагает

создание новой административной и финансовой столицы, которая будет располагаться к востоку от существующего Каира, простираясь до побережья Красного моря. Это позволит сформировать новую урбанизированную территорию, рассчитанную на проживание семи миллионов человек. Разработку генерального плана осуществила архитектурная компания SOM.

Запланированная застройка, охватывающая территорию в 700 квадратных километров, обещает включать один из крупнейших в мире городских парков и более ста новообразованных жилых районов. Проектирование этих кварталов будет учитывать естественный рельеф местности, в частности, вади – высохшие русла рек и эрозионные долины, которые могут наполняться водой во время интенсивных осадков. Предполагается, что они станут зонами озеленения, способствующими циркуляции естественных воздушных потоков по городу. По мнению SOM, такой подход приведет к созданию современного, устойчивого города, гармонично вписывающегося в местную экосистему и одновременно поддерживающего растущую экономику страны (рис. 9).



Рисунок 9 – Проект The Capital Cairo, Египет

После рассмотрения планов идеальных городов и современной альтернативы стоит сделать вывод, что нельзя считать урбанистические законы окончательными и универсальными, но в этом их преимущество.

Каждый город уникален как по объективным критериям, так и по атмосфере, сформированной историей и подкрепляемой социумом с неповторимым менталитетом. Несмотря на все усилия архитекторов, начиная с античности и по сей день, не существует универсального градостроительного решения, которое бы одинаково эффективно применялось в Европе и Азии, или даже в рамках одной страны. Следовательно, установленные нормы и стандарты должны служить ориентиром для творческих поисков проектировщика, а не накладывать на них жесткие рамки или полностью исключать его из процесса формирования городского пространства.

Стоит упомянуть, что в Тамбове также реализуется множество проектов, которые характеризуются критериями идеальных городов. Происходит модернизация дорожных сетей, создаются новые транспортные развязки для решения проблемы загруженности дорог, ведется работа по совершенствованию системы общественного транспорта. Особое внимание уделяется повышению экологической привлекательности города: проводятся работы по благоустройству и модернизации зеленых зон, включая создание новых и реконструкцию существующих парков и скверов. Так недавно был создан парк «Ласки», благоустроен сквер в Ахлебиновской роще, разработан сквер «Гармония». Происходит обновление городских улиц, тротуаров, фасадов зданий. Создаются новые школы и больницы с современным подходом к проектированию. Также в городе реализуется множество проектов по созданию новых комфортных жилых районов с доступными детскими садами и школами, в каждом микрорайоне располагается сквер с развитым общественным пространством.

В целом, Тамбов активно реализует ряд инициатив, направленных на улучшение инфраструктуры, экологической ситуации, социальной сферы и безопасной городской среды. Эти меры способствуют развитию города в направлении, соответствующем критериям идеальных городов: комфорта, безопасности, экологичности и высокому качеству жизни. Хотя задачи, направленные на создание

идеального города, требуют времени и постоянных усилий, текущие проекты демонстрируют положительную динамику и положительный настрой на будущее развитие города Тамбова.

Заключение. Идеальные города и концепции городского будущего — это не просто мечты, а мощные отправные точки для развития современного градостроительства. Они вдохновляют на создание экологичных, технологичных и гармоничных пространств, способных отвечать меняющимся потребностям населения и глобальным вызовам. Сегодняшние проекты, такие как Телос, Сингапур или Амаравати, демонстрируют, что устойчивое развитие, инновации и забота об окружающей среде могут сосуществовать с комфортабельной и функциональной городской средой. Важно помнить, что город будущего должен быть не только технологически продвинутым, но и социально инклюзивным, экологически сбалансированным и адаптивным. Только так мы сможем построить города, в которых хочется жить и развиваться, гармонично вплетая новые идеи в ткань городской жизни.

Список использованных источников

1. Алина Измайлова. BIG представило проект утопического города на западе США [Электронный ресурс] // archi.ru. – 24.09.2021. – Режим доступа: https://archi.ru/news/94369/big-predstavilo-proekt-utopicheskogo-goroda-na-zapade-ssha (дата обращения: 26.12.2025).
2. Гульнара Летфуллина. Города будущего: 10 самых амбициозных проектов [Электронный ресурс] // INTERIOR+DESIGN. – 05.02.2024. – Режим доступа: https://www.interior.ru/architecture/13912-goroda-buduschego-10-samih-ambitsioznih-proektov.html (дата обращения: 26.12.2025).
3. Ландшафтный дизайн и архитектура сада [Электронный ресурс] // gardener.ru. – Режим доступа: https://www.gardener.ru/gap/garden_guide/page7125.php?&print=1 (дата обращения: 26.12.2025).
4. Новые города. Районная планировка и градостроительство / Пьер Мерлен ; Перевод с французского К. Т. Топуридзе и В. Н. Зайцева ; Вступительная статья К. Т. Топуридзе. – Москва : Издательство «Прогресс», 1975. – 254 с., ил.
5. Учреждение рая [Электронный ресурс] // archi.ru. – 22.08.2020. – Режим доступа: https://archi.ru/world/87087/uchrezhdenie-raya (дата обращения: 26.12.2025).
6. Юлия Рузманова. Место или идея [Электронный ресурс] // blueprint. – 15.04.2024. – Режим доступа: theblueprint.ru/culture/forma-sp24 (дата обращения: 26.12.2025).
7. Eneca. Гармоничная среда: как пешеходные и рекреационные зоны создают комфортное пространство в жилых комплексах [Электронный ресурс] // Энэка. – 21.03.2025. – Режим доступа: https://eneca.ru/novosti/proektirovanie-inzhiniring/garmonichnaya-sreda-kak-peshekhodnye-i-rekreatsionnye-zony-sozdayut-komfortnoe-prostranstvo-v-zhilykh/ (дата обращения: 26.12.2025).
8. yalil007. Энергонезависимый город от итальянцев, в котором деревьев будет вдвое больше, чем людей [Электронный ресурс] // novate. – 27.11.2019. – Режим доступа: https://novate.ru/blogs/271119/52492/ (дата обращения: 26.12.2025).

УДК 2.03(470.326) + 908
03.81.99: Другие вспомогательные исторические дисциплины

РОЛЬ СЕМЬИ САТИНЫХ В ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА ТАМБОВСКОЙ ГУБЕРНИИ

Гришова Татьяна Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», член союза архитекторов России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: gta.62@mail.ru

Старкова Таисия Викторовна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», почетный архитектор России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: tstarkova1957@mail.ru

Овчинникова Анастасия Сергеевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
e-mail: nastya2004ow@gmail.com

Уварова Екатерина Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент
e-mail: kat_uva09@inbox.ru

Аннотация. В данной статье происходит краткое знакомство с историческим портретом семьи, а также исследуются здания, являющиеся архитектурным наследием семьи Сатиных в Тамбовской губернии.

Ключевые слова: исторический портрет, архитектурное наследие.

Введение. Тамбовская губерния на протяжении XIX – начала XX веков становилась центром не только сельскохозяйственного, но и культурно – архитектурного развития региона. Одним из ярких представителей этого процесса стала семья Сатиных – древний дворянский род, имевший владения в различных уездах, а также внёсший значительный вклад в формирование архитектурного облика Тамбовщины.

Исторический портрет семьи Сатиных. Сатины – древний княжеский род, ведущий свою историю от князя Шонура-Козельского, потомка Рюриковичей. В период правления Ивана Грозного представители фамилии Сатиных-Шонуровых отличались своенравным характером, что повлекло за собой царскую немилость и конфискацию их владений. Александр Александрович Сатин, прямой потомок князя Шонура-Козельского, вступил в брак с Варварой Аркадьевной Рахманиновой, принадлежавшей к известному молдавскому боярскому роду. Данный союз объединил фамилии Сатиных и Рахманиновых.

Сатины играли значимую роль в жизни Тамбовской губернии, принимая активное участие в ее общественной деятельности. Они славились высоким уровнем образования, преданностью Отечеству и, несомненно, своим вкладом в архитектуру региона. Их имения располагались практически в каждом уезде Тамбовской губернии. Сатины владели несколькими конными заводами, мельницей и крупорушкой, чугунным и механическим заводами. Среди наиболее известных представителей рода – поэт и переводчик Николай Сатин, председатель Тамбовской уездной земской управы Александр Сатин, гласной Тамбовского уездного земства Иван Сатин, адвокат и представитель партии кадетов Николай Сатин, а также супруга композитора Рахманинова, Наталия Сатина и ее сестра, профессор ботаники и генетики Софья Сатина.

Одно из ключевых владений Сатиных находилось в Тамбовском уезде. В 1699 году Григорий Степанович Сатин посватался к дочери состоятельного помещика Никиты Ивановича Кошелева. После смерти Кошелева его имения – Пречистинский Боерак и Кошелево (современная Ахтырка) – перешли к его дочери. В 1750-е годы Пелагея продала Ахтырку своему внуку, Афанасию Михайловичу Сатину, который переехал туда после 1762 года. К середине XVIII века и другие члены семьи Сатиных приобретают земельные владения на юге Тамбовского уезда: боярин Афанасий Михайлович Сатин и его жена Ирина Михайловна в деревне Пречистинский Боерак, Анна Гавриловна Сатина и Михаил Иванович Сатин в селах Рождественское и Подоскряй. Во второй половине XVIII столетия троюродный брат Афанасия, Александр Емельянович Сатин (1746 г.р.), становится владельцем имений в деревнях

Ивановской и Московке (Сатинской), расположенные к югу от Ахтырки. Александр женил старшего сына Михаила (1775 г.р.) на дочери прокурора, Дмитрия Федоровича Хвощинского, Екатерине, получив земельные угодья. Молодые строят усадьбу и селятся в д. Дмитриевской. Впоследствии за Сатиными закрепляются земли в селах Подоскляй, Ивановка, Московка, Новосильское (часть современного Коптева).

Известно о двух сыновьях и двух дочерях Михаила Сатина - Елизавете, Настасьи, Иване и Николае. Старшему сыну, Ивану Михайловичу, отошла большая часть отцовских владений, включая имения в вышеупомянутых селениях. Впоследствии эти земли перешли к его потомкам. К примеру, деревня Дмитриевская досталась его сыну Михаилу.

а)

б)

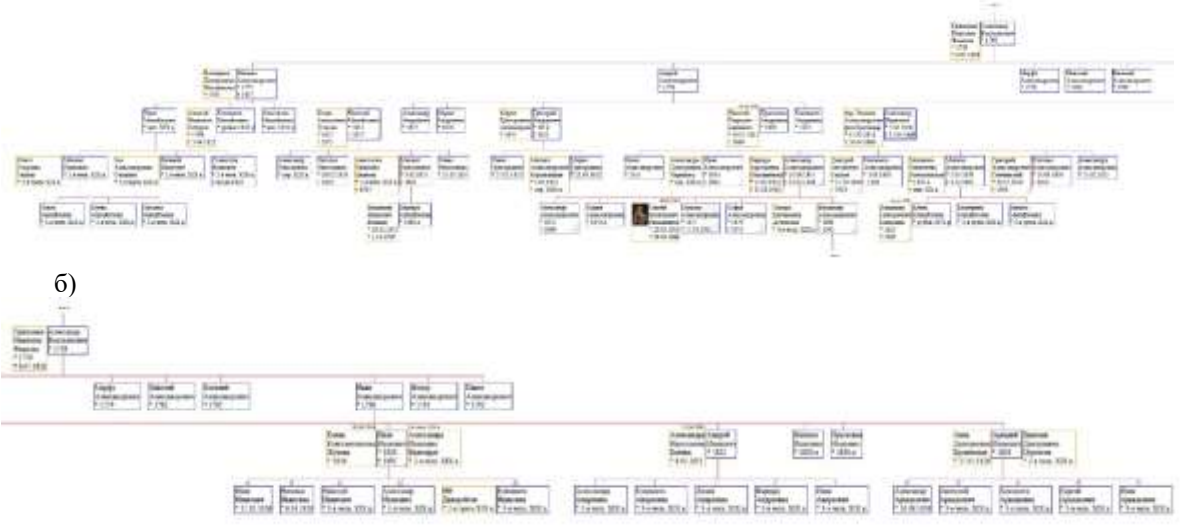


Рисунок 1 – Древо рода Сатиных (фрагмент):
а – левая ветвь; б – правая ветвь



Рисунок 2 – Герб рода Сатиных



Рисунок 3 – С.А. Сатина, С.В. Рахманинов, А.А. Сатин, священник Николай, Ю.Ю. Крейцер, М.А. Бакунин; сидят: В.А. Сатина, Н.А. Сатина, Е.Ю. Крейцер. Ивановка, 1890-е

Великое архитектурное наследие Сатиных в Тамбовской губернии.

В селе Ивановка располагалось фамильное гнездо Сатиных. История поместья началась в 1750-х годах на берегу реки Вязовки. К концу XIX века усадьба превратилась в обширный комплекс, включавший жилые строения (главный дом, флигель), хозяйственные постройки, старый и молодой парки, а также огороды и ягодники. Ивановка тесно связана с жизнью и творческим путем выдающегося

русского композитора Сергея Васильевича Рахманинова. С 1890 по 1917 год он проводил много времени в поместье своих родственников Сатиных, плодотворно работая и создавая большую часть своих сочинений. В период Гражданской войны имение неоднократно меняло владельцев. В 1923 году усадьба подверглась полному разграблению и разорению, а дом был разобран. Восстановление усадьбы стало возможным лишь в 1995 году. В настоящее время в поместье находится музей-заповедник С. В. Рахманинова «Ивановка».



Рисунок 4 – Современные границы села Ивановка и расположение музея-заповедника С.В. Рахманинова



Рисунок 5 – Усадьба Сатиных в Ивановке

В селе Перикса Сампурского района находится еще одно примечательное здание. Эта усадьба, возведенная во второй половине XIX столетия по уникальному проекту, выделяется среди прочих построек. В качестве основного строительного материала использовался кирпич местного производства, поскольку Иван Сатин, владелец усадьбы, имел собственный кирпичный завод.

Несмотря на два пожара, которые пережил дом, его стены остались нетронутыми огнем. Помимо главного дома, до наших дней сохранились конюшня и флигель, предназначенный для проживания прислуги. Особенностью местности также является сохранившийся сосновый бор, прилегающий к усадьбе.



Рисунок 6 – Современные границы села Перикса и местоположение усадьбы Сатиных



Рисунок 7 – Расположение построек усадьбы



Рисунок 8 – Сохранившийся фасад жилого дома усадьбы



Рисунок 9 – Усадьба Сатиных в Периксе

В селе Ахтырка в 1816 году появилась церковь, посвященная Ахтырской иконе Богоматери. Возведена она была премьер-майором Н.И. Сатиным, известным предводителем дворянства Тамбовского уезда, отличившимся в войне 1812 года. Архитектурным вдохновением послужила московская церковь Космы и Дамиана, расположенная на Маросейке. Здание храма сооружено из красного кирпича.

Одной из примечательных черт является купол. Его диаметр в основании составляет 8 метров. Уникальность купола заключается в его конструкции, выполненной исключительно из кирпича, без каких-либо перекрытий, и украшенной лепными элементами. Внутри купола можно увидеть барельефы, изображающие крупные цветы с детальной проработкой лепестков и сердцевины.

Согласно архивным записям, в прошлом в храме располагались три престола: главный был освящен в честь Ахтырской иконы Божией Матери, а приделы посвящены Дмитрию Ростовскому и Николаю Чудотворцу. Церковь также связана с трехъярусной колокольней. В свое время этот храм считался выдающимся образцом церковного зодчества, не имевшим аналогов в Тамбовской губернии.

В период Советской власти церковь подверглась разрушению и опустошению. В настоящее время она находится в плачевном, аварийном состоянии.



Рисунок 10 – Современные границы д. Ахтырки и ул. Кошелево (бывшая д. Кошелево)



Рисунок 11 – Заброшенный храм Ахтырской иконы Божией Матери



Рисунок 12 – Московская церковь Космы и Дамиана на Маросейке

В селе Васильевка Тамбовской губернии возвышался еще один храм, основанный представителем семьи Сатиных. Согласно летописным данным, в 1822 году в Сатино, как тогда называлось село, помещик Василий Сатин начал возводить церковь на собственные средства в самом сердце поселения. Лишь в 1835 году в храме начались церковные службы. Первой иконой в церкви была Казанская икона Божией Матери, в честь которой она и получила свое название.

Архитектурная композиция храма имеет крестообразную форму и состоит из четверика, на котором возвышается световая ротонда, увенчанная высоким шлемовидным куполом и главкой. С западной стороны к нему примыкают трапезная и трехъярусная колокольня с высоким шпилем. С трех сторон храм украшают четырехколонные портики с треугольными фронтонами, что придает этому сооружению

в провинции особое величие. В 1930-е годы храм был закрыт. Возвращен верующим в 1993 году, после чего начались работы по его восстановлению.

Согласно рассказам старых жителей, перед церковью располагался особняк из белого камня с флигелем и другими зданиями, образуя дворянскую усадьбу. Вокруг простирался обширный сад, а живая изгородь из сирени и деревьев дополняла эту красоту. До наших дней дошли лишь незначительные остатки кустарников и земляной вал, некогда ограждавший усадьбу с одной стороны. В селе имелись два пруда, которые сохранились и по сей день. Местные жители вспоминали, что вода в них была кристально чистой, и в прудах водилось множество рыбы.

В советский период усадьба была уничтожена. Церковь также неоднократно подвергалась попыткам разрушения, но устояла. Колокола были сняты, однако иконы удалось сохранить благодаря местным жителям. На территории храма проводились раскопки захоронений, а позднее в здании разместили зернохранилище. В начале 2000-х годов, с помощью Божией, местные жители при поддержке и деятельном участии главы районной администрации приступили к восстановлению храма. Уже более десяти лет продолжаются реставрационные работы и благоустройство, одновременно с этим в храме проводятся богослужения. Церковь Казанской иконы Божией матери считается одной из старейших в нашем районе.

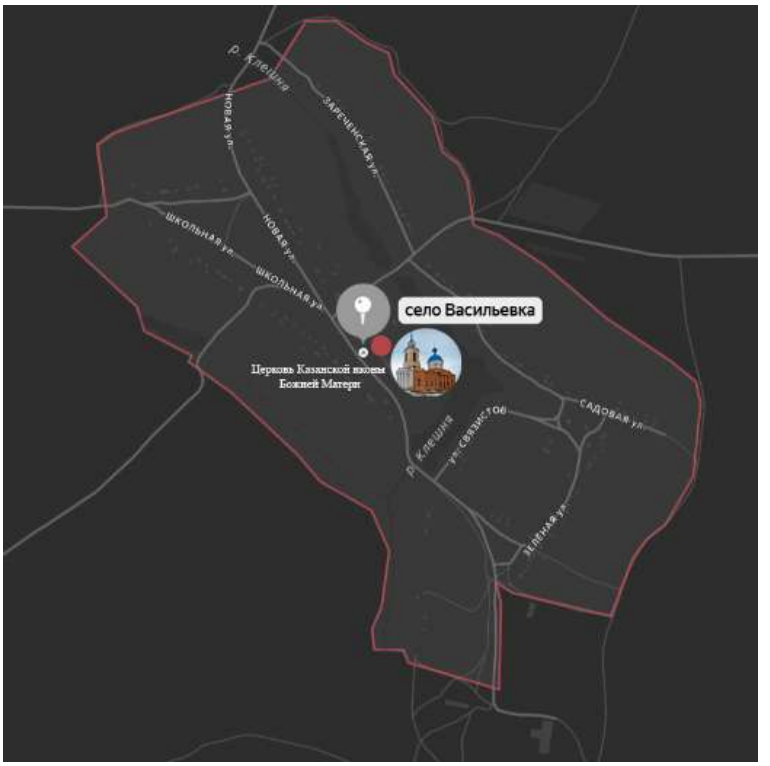


Рисунок 13 – Современные границы с. Васильевка

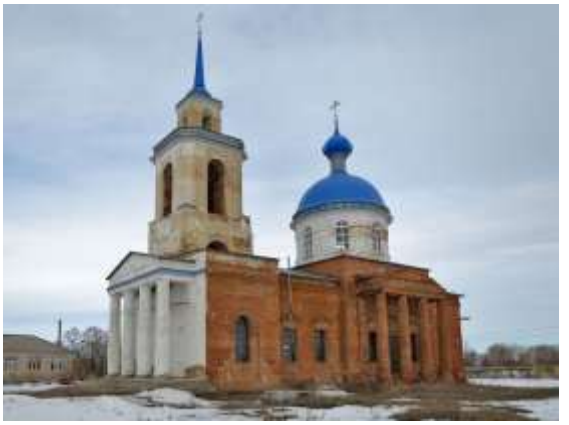


Рисунок 14-15 – Церковь Казанской иконы Божией матери

Также в центре губернии находился особняк, принадлежавший семье Сатиных. Доходный дом, принадлежавший ранее И.И. Сатину, стоит на углу бывших улиц Варваринской и Флотской, ныне известных как Советская и Сергеева-Ценского. Уникальность этого здания заключается в том, что оно является одним из всего двух тамбовских строений, выполненных в неорусском стиле. Возведение этого дома было профинансировано Иваном Ивановичем Сатиным, крупным помещиком, владевшим усадьбой, включавшей в себя жилой флигель и доходный дом, предназначенный для сдачи в аренду. Сатин владел фабрикой по производству шерсти, а также землями в Тамбовском и Липецком уездах. Декор оконных наличников первого этажа тамбовского дома Сатина представляет собой прерывистый архитектурный фриз, украшенный орнаментом, напоминающим простую народную геометрическую вышивку. В качестве прототипа для народного орнамента этого строения был выбран узор «козлик», типичный для среднерусской вышивки, в частности, для Тамбовской губернии.

Центральный вход в здание украшают две небольшие башенки. Они располагаются по бокам от треугольного фронтона, в котором прорезаны узкие окна, напоминающие бойницы старинных русских крепостей.

Под фронтоном находится еще один вход, стилизованный под портал древнерусских храмов. Пары столбов, выполненные в форме кувшинов, поддерживают массивный свод, похожий на крыльцо традиционного русского терема. Высокие и узкие окна объединены тремя наличниками с элементами декоративных поясков.

Искусственный камень, имитирующий природный, использован для отделки вставок под окнами второго этажа и фриза, что является отсылкой к архитектурному стилю северного модерна. Впервые в Тамбове при возведении этого здания были применены стеклоблоки, которые, к сожалению, были утеряны после реставрации.

Вскоре после Октябрьской революции здание перешло в собственность государства. В его стенах открылась школа Всевобуча, а также были поселены семьи, лишенные гражданских прав. В 1920-е годы помещения здания отдали под жилье для нового партийного руководства. Около семи десятилетий здание не подвергалось серьезному ремонту. Лишь в 1984 году была проведена реконструкция, и в нем разместили детскую художественную школу. В 1990-е годы удалось провести реставрацию и сформировать окончательный архитектурный облик, добавив пристройку, камерный внутренний двор и выставочный зал. В двадцать первом веке в здании была утрачена оригинальная распашная филёнчатая дверь, которую заменили на современную пластиковую конструкцию.

В 1989 году жилой дом Сатина получил статус памятника архитектуры и объекта культурного наследия регионального значения.

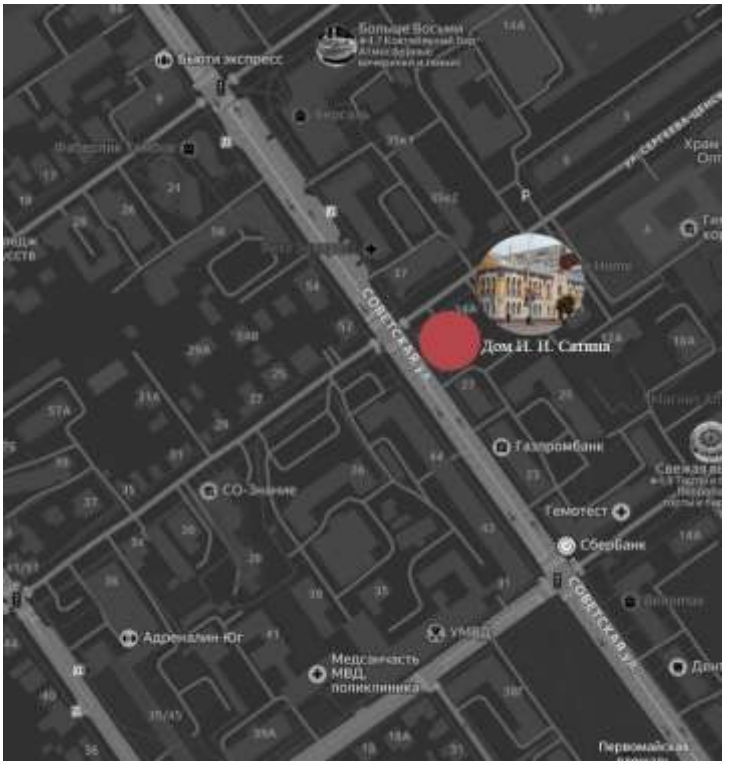


Рисунок 16 – Расположение дома И.И. Сатина в центре Тамбовской губернии



Рис 17 – Дом И.И. Сатина



Рис 18 – Фасад дома И.И. Сатина

Заключение. Вклад семьи Сатиных в развитии Тамбовской губернии является значимым аспектом в истории области, хотя и недостаточно широко освещенным. Их усилия не ограничивались подъемом экономики и аграрного сектора, но также стимулировали культурные и общественные проекты, что положительно повлияло на благосостояние местного населения. Изучение этого вопроса дает возможность глубже осознать влияние отдельных фамилий и персоналий на формирование идентичности Тамбовского края, а также важность сохранения памяти о тех, кто содействовал развитию региона.

В дальнейшем, более детальный анализ семейных документов и местных архивов может раскрыть неизвестные факты из прошлого и помочь по-настоящему оценить их влияние на историю Тамбовской губернии. Вклад этой семьи заслуживает большего признания и более тщательного изучения. Их наследие является важной частью историко-культурного контекста региона.

Список использованных источников

1. А.А. Севастьянова. Сатины в Рязанском крае в XVI–XVII веках и раннее новое время [Электронный ресурс] // cyberleninka. – 2017. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/satiny-v-ryazanskom-krae-v-xvi-xvii-vekah-i-rannee-novoe-vremya-k-145-letiyu-sergeya-vasilievicha-rahmaninova/viewer (дата обращения: 17.11.2025).
2. Когда и кем была основана «рассказовская» Ахтырка [Электронный ресурс] // МБУК «Краеведческий музей» Кирсановского муниципального округа Тамбовской области. – Режим доступа: https://muzeykirsokr.tmbreg.ru/?p=3644 (дата обращения: 17.11.2025).
3. Музей-усадьба С.В. Рахманинова. Ивановка [Электронный ресурс] // Мир путешествий. – Режим доступа: http://zhais.ru/R-tambov-ivanovka1.htm (дата обращения: 17.11.2025).
4. Наталья Тартаковская. Листки из семейного альбома [Электронный ресурс] // Музыкальная жизнь. – Режим доступа: https://muzlifemagazine.ru/listki-iz-semeynogo-alboma-2/ (дата обращения: 17.11.2025).
5. Сатины [Электронный ресурс] // Тамбовская энциклопедия. – 14.11.2025. – Режим доступа: https://tambweb.ru/%D0%A1%D0%90%CC%81%D0%A2%D0%98%D0%9D%D0%AB (дата обращения: 17.11.2025).
6. Сатины: древо рода (фрагмент) [Электронный ресурс] // Российский Родословный Фонд. – Режим доступа: http://rgfond-ru.1gb.ru/rod/99443 (дата обращения: 17.11.2025).
7. Сатины Тамбов [Электронный ресурс] // МБУК «Краеведческий музей» Кирсановского муниципального округа Тамбовской области. – Режим доступа: https://muzeykirsokr.tmbreg.ru/?p=5263 (дата обращения: 17.11.2025).
8. Татьяна Уланова. «Потерял самого себя». Боль и слава Сергея Рахманинова [Электронный ресурс] // АиФ. – 01.04.2023. – Режим доступа: https://aif.ru/culture/person/poteryal_samogo_sebya_bol_i_slava_sergeya_rahmaninova (дата обращения: 17.11.2025).
9. Усадебный комплекс дворян Сатиных [Электронный ресурс] // МБУК «Краеведческий музей» Кирсановского муниципального округа Тамбовской области. – Режим доступа: https://muzeykirsokr.tmbreg.ru/?p=5058 (дата обращения: 17.11.2025).
10. Храм Ахтырской иконы Божией матери [Электронный ресурс] // МБУК «Краеведческий музей» Кирсановского муниципального округа Тамбовской области. – Режим доступа: https://muzeykirsokr.tmbreg.ru/?p=4238 (дата обращения: 17.11.2025).
11. ivvva. Ахтырская церковь [Электронный ресурс] // if you travel. – 29.06.2012. – Режим доступа: https://iftravel.ru/axtyrka-church (дата обращения: 17.11.2025).

УДК 721.000
67.07.03 Теория архитектуры. Архитектурные композиции

ФОРМИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ УЗЛОВ И ИДЕНТИЧНОСТИ МЕСТА В ПРОЕКТАХ А.А. ВОЛОВИКА

Гудков Алексей Алексеевич,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), кандидат архитектуры, профессор
e-mail: aa_gudkov@mail.ru

Яцко Алина Владимировна,
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), магистрант
e-mail: ya-alina.al@mail.ru

Введение Актуальность, объект, предмет, цель

Анатолий Афанасиевич Воловик прожил долгую и плодотворную жизнь, оставив значительный вклад в развитие самых разных областей отечественной архитектуры, однако, его архитектурное наследие, формирующие средовые образы некоторых районов города Новосибирска, до настоящего времени мало исследованы.

Объектом исследования являются общественные объекты советского модернизма. Предметом, выступают композиционно – градостроительные решения крупных общественных зданий А.А. Воловика.

Цель исследования состоит в анализе градостроительных и композиционных решений крупных общественных объектов А.А. Воловика для определения их влияния на формирование городских узлов и идентичности архитектуры Новосибирска.

Задачи: анализ градостроительных и композиционных решений, роли объектов в формировании городских узлов и идентичности места, сравнение объектов Воловика с типологическими аналогами советского модернизма для выявления уникальных черт, выявление средового образа крупных общественных объектов А.А. Воловика. Обосновать историческую ценность композиционно-градостроительных решений Воловика для современного понимания архитектурной идентичности Новосибирска и необходимости их сохранения.

Центральная проблема исследования заключается в осознании исторической ценности трех композиционно-градостроительных образов модернистской архитектуры архитектора А.А. Воловика.

Гипотеза исследования – градостроительные и композиционные решения модернистских объектов А.А. Воловика оказали значительное влияние на формирование городских узлов и образа места.

Архитектура советского модернизма – это не просто совокупность зданий, а отражение сложного переплетения идей, идеологии и технологических возможностей своей эпохи. В Сибири, регионе с уникальными климатическими и географическими условиями, этот стиль обрел специфические черты, превратившись в самостоятельное явление – «сибирский модернизм». Ключевая фигура этого направления – архитектор Анатолий Афанасьевич Воловик, чьи проекты стали не просто утилитарными сооружениями, но и значимыми доминантами, формирующими «городские узлы» и идентичность Новосибирска. Данная работа посвящена анализу того, как в творчестве Воловика архитектура выступает в роли средового дизайна, организуя общественные пространства и создавая неповторимый «дух места».

Климатические и градостроительные факторы сибирского модернизма

Суровые сибирские условия – климат, география и культурные особенности – наложили свой отпечаток на архитектуру модернизма в этом регионе. В Новосибирске, расположенном в континентальной части страны, резкие перепады температур требовали особого подхода к проектированию. Несмотря на склонность модернизма к унификации, общественные здания по проектам Воловика всегда создавались с учетом индивидуальных особенностей места.

Ключевые особенности адаптации к сибирским условиям:

- Защита от холода: Массивные стены и улучшенная теплоизоляция стали нормой. Плоские крыши, типичные для модернизма, укреплялись, чтобы выдерживать обильные снегопады.
- Гармония с природой: Здания ориентировались для оптимального использования солнечного света и защиты от ветра, а также включали элементы озеленения.
- Впечатляющий масштаб: Часто здания были крупными, чтобы выделяться на фоне окружающей малоэтажной застройки. В условиях сурового климата и индустриализации приоритет отдавался функциональности и прочности конструкций, что и сформировало облик сибирского модернизма [1].

Культурно-градостроительные факторы и «оттепель»

До середины 1950-х годов в архитектуре Новосибирска, как и во всей стране, господствовала неоклассика с её симметрией, колоннами и лепниной. Ситуация кардинально изменилась после выхода Постановления «Об устранении излишеств...», которое «открыло путь» к освоению передовых достижений в технологии строительства и архитектурным экспериментам.

Основные черты архитектуры Новосибирска 1950–1970-х годов включали переход от декоративности к функционализму, появление крупномасштабных жилых массивов, общественных зданий с лаконичной пластикой и широкое использование индустриальных конструкций. В этот период архитектор начинает выступать не как создатель отдельных объектов, а как «дирижёр», согласующий множество факторов, социальных процессов и технологических решений. Именно этот системный подход и позволил Воловику превратить архитектуру в инструмент формирования городской среды [8, 13].

Принципы и приёмы проектирования А.А. Воловика: создание «городских узлов»

Архитектурная деятельность многогранна. Архитектор одновременно выступает как интегратор, чья задача – осмыслить и сбалансировать множество влияющих факторов (природных, социальных, инженерных), и как художник, способный в рамках этих ограничений создать уникальное пространственное решение. В основе творческой философии Воловика лежала концепция «архитектуры места», или «духа места». Этот принцип требовал внимательного отношения к специфике каждого пространства, к его диалогу с окружающей средой и человеком. «Дух места» – это результат слияния природных условий, исторического контекста, культурных традиций, а также человеческих переживаний, которые словно вплетаются в саму ткань архитектуры. Архитектуру места можно выявить по нескольким ключевым элементам: климат, ландшафт, исторический слой, местные материалы, культурный код и масштаб [6, 8]. Его постройки выступают не изолированными объектами, а градостроительными узлами, формирующими новые общественные центры. Ниже на примере трёх ключевых проектов – ГПНТБ, аэровокзала «Толмачёво» и речного вокзала – прослеживается реализация этого подхода [9].

1. ГПНТБ СО РАН как узловая точка научно-культурной среды Новосибирска

Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения РАН (ГПНТБ СО РАН, 1960–1966 гг.) – это не просто книгохранилище, а крупный многофункциональный научно-информационный центр. Сегодня она служит интеллектуальным ядром территории, точкой притяжения для учёных, студентов и горожан, а также важнейшим компонентом новой городской среды, ориентированной на науку и культуру.

Градостроительная роль и формирование пространства. Здание Государственной публичной научно-технической библиотеки расположено на значительной высоте, что позволяет ему замыкать перспективу улицы Восход и обеспечивать визуальную связь с левым берегом реки Обь. Библиотека выступает пространственной доминантой района, превосходя по высоте и масштабу окружающую застройку. При её строительстве противоположная сторона улицы Кирова была застроена зданиями классицистического стиля. Угловые объекты – жилой дом и Завод радиодеталей, раскрывшись на здание библиотеки, сформировали площадь перед ней [1, 10]. Здесь наглядно читается противопоставление старого и нового, динамика объёмов и контраст между устремлённым вверх модернизмом и классической традицией.

Просторная площадь с фонтанами стала новым центром притяжения, чьи размеры определяются не потребностями человека, а гармонией архитектурного ансамбля. В духе советского модернизма, её масштаб намеренно превосходит человеческий, что не умаляет, а наоборот, подчеркивает значимость главного здания как градостроительного акцента. Изначально фонтаны служили функциональной цели – охлаждению подземных хранилищ. По завершении строительства был запущен комплекс из трёх фонтанов под названием «Речные цивилизации», олицетворяющий реки Обь, Бия и Катунь [9, 10]. В соответствии с модернистской концепцией проект потребовал симметричного, строгого, жёсткого планировочного решения клумб и газонов.



Рисунок 1 – Образ места библиотеки. Размещение на карте Новосибирска 1979 года

В наше время библиотека утратила статус высотной доминанты из-за новой застройки, однако за ней сохранилась функция визуального завершения площади.

Архитектурный образ. Архитектура П-образного здания ГПНТБ выделяется глубокой вертикальной членённостью фасадов. Выступающие вперёд массивные пилоны создают выразительный светотеневой рельеф. Глубокие витражные проёмы, утопленные в объём здания, усиливают ощущение массивности стен. Крупный масштаб пилонов, воспринимаемых как отдельные элементы, формирует чёткий ритм и тектонику. Горизонтальный козырёк, протянувшийся над главным входом, служит визуальным якорем. Общий масштаб здания статичен и доминирует, подчиняясь общей композиции ансамбля, а не индивидуальным потребностям человека. Пластическое решение фасада формирует образ «интеллектуальной крепости» [4, 12, 15].

В архитектуре модернизма библиотека часто «встраивается» в кампус (как, например, в Гарварде). Здесь же ГПНТБ не является частью композиции – она доминирует, выступая самостоятельным архитектурным монументом, формирующим визуальные оси с соседними зданиями (Рисунок 1).

Сравнение с другими библиотеками: градостроительные узлы и сценарии входа. Чтобы точнее охарактеризовать средовой образ ГПНТБ, сравним её с ключевыми аналогами. В отличие от «храмового» монументализма библиотеки им. Ленина (Москва), а также лаконичной и элитарно-замкнутой ИНИОН РАН (Москва) и библиотеки Казахстана им. А. С. Пушкина (Алма-Ата), ГПНТБ СО РАН ориентирована на массового пользователя и открытость знания. Именно поэтому её внешний облик максимально упрощён, а планировочная система (как и у ИНИОН) тяготеет к лаконичности. Входные зоны разнообразны: у библиотеки им. Ленина – резной портик и парадная колоннада; у ИНИОН – мостик над водой и портал, смещённый от центра фасада (эффект отстранённости); у библиотеки Казахстана – входная зона заглублена ниже уровня земли и утоплена под нависающий фасад (ассоциация с пещерой, «кладовой мудрости»).

По градостроительному положению объекты различаются. Библиотека им. Ленина, как и ГПНТБ с библиотекой Казахстана, имеют небольшие внешние пространства с искусственными водоёмами. При этом ГПНТБ и библиотека Казахстана замыкают перспективы подходящих улиц, тогда как остальные расположены сбоку, на углу улицы, и не замыкают дальних перспектив, доминируя лишь в ближнем ансамбле площади (Рисунок 2) [11, 12].



Рисунок 2 – Сравнительный анализ общественных зданий библиотечной, культурной направленности

2. Аэровокзал «Толмачёво»: узловая точка «воздушных ворот города»

Аэровокзал (1960–1963 гг.) активно участвовал в развитии инфраструктуры города Оби и Новосибирска в целом: при нём построили общежития, многоквартирные жилые дома, сформировав Толмачёвский объединённый авиаотряд.

Градостроительная роль и формирование пространства. На месте бывшего аэровокзала, к северо-западу от городской черты, возведено новое здание. Для строительства взлетно-посадочной полосы был выбран максимально ровный участок, что позволило минимизировать объем земляных работ. Аэропорт Толмачёво изначально проектировался не просто как транспортный узел, а как стратегически важный транзитный коридор между Европой и Азией, что определило его масштаб и значимость [1, 7]. Расположенный в «чистом поле», аэровокзал сам создал «дух места», став центром притяжения для целого города.

В градостроительном плане, здание аэропорта, благодаря своей горизонтальной ориентации, эффектно завершает вид на проспект. Главный фасад здания, окруженный цветниками и вспомогательными постройками, контрастирует с малоэтажными обслуживающими зданиями, выделяясь как доминанта места.

В отличие от традиционных вертикальных доминант (башни, небоскрёбы), аэропорт Новосибирска создаёт горизонтально-протяжённый силуэт. Масштаб задаёт значимость и статус «монументальности входа», а ритм создаёт ощущение «движения», придаёт динамику и протяжённость. Огромное панорамное остекление фасада создавало чувство торжественности, ощущение перехода между городом и глобальным миром [8, 14].

Толмачёво – это масштаб инфраструктуры, а не человека, воспринимается как архитектура транзита эпохи индустриального модернизма. Пространства – вытянутые, «горизонтальные»: длинные фасады, протяжённые залы ожидания, широкие перроны. Масштаб ощущается в протяжённости и размерах

плоскостей, что соответствует географии Новосибирска, его равнинному рельефу и отсутствию выраженных природных доминант. Аэровокзал усиливает ощущение простора и открытости Сибири, создавая линейный силуэт [9].



Рисунок 3 – Образ места аэровокзала. Размещение на карте Новосибирска 1979 года

В следствии реконструкции и расширения аэропорта старое здание «растворилось» в новом.

Архитектурный образ. Планировочная организация здания полностью подчинена логике технологического процесса обслуживания пассажиров. Малоэтажное Т-образное строение отличается композиционной простотой, изящными пропорциями и характерной для модернизма строгостью линий. Форма основного объема намеренно лаконична, а выразительность здания достигается за счет пластического акцента в зоне главного входа.

Главный архитектурный акцент – монументальный красный козырёк – служит «указателем масштаба», обеспечивая «скачок» в восприятии с градостроительного (масштаб пути) на человеческий (масштаб прикосновения). Несколько «вздёрнутый» красный козырёк по образу напоминает траекторию взлетающего самолёта – он контрастно выделяет вход. Козырёк массивнее, чем у ГПНТБ, его преувеличенный масштаб подчёркивает функциональную и композиционную значимость входа.

Общая композиция горизонтальный прямоугольный объём с метрическим решением оконных проёмов, задающий ощущение порядка, контроля, регламента. Здание с главного фасада читается монолитными блоками, а со стороны лётного поля – лёгким витражом [2, 5] (Рисунок 3).

Сравнение с аналогами аэровокзалов: градостроительные узлы и сценарии входа. Сравнение «Толмачёво» с аэровокзалами «Магадан-56», «Минеральные Воды» и «Домодедово» показывает, что Воловик не был новатором формы в чистом виде. Приёмы, которые он использовал (консольные навесы, сплошное остекление), были повсеместно распространены. Главная заслуга Воловика – не изобретение новых форм, а их адаптация к сибирскому контексту и превращение типового решения в запоминающийся архитектурный символ.

Все четыре аэровокзала имеют вынесенный операционный зал и консольный навес. В отличие от более лёгких аналогов («Магадан-56», «Домодедово»), внешний облик вокзалов в Минеральных Водах и Новосибирский вариант максимально схожи. Несмотря на идентичное решение входных остеклённых зон, аэровокзалы «Минеральных Вод» и «Толмачёво» демонстрируют общую особенность: их операционные залы смещены относительно главной оси основного блока. Однако козырёк «Толмачёво» представляет собой пример «сибирского модернизма» с выраженным брутальным акцентом входной группы.

Градостроительное положение объектов идентично – все расположены на периферии городов. «Толмачёво» и «Домодедово» имеют благоустроенные садово-парковые зоны; у остальных аэровокзалов прилегающие участки невелики, но ухожены. Таким образом, именно «Толмачёво» и «Минеральные Воды» являются примерами замыкания перспективы подъездного пути, тогда как «Магадан» встроен в кластер, а «Домодедово» сочетает осевое положение с обширной парковой зоной (Рисунок 4) [11, 12].



Рисунок 4 – Сравнительный анализ общественных зданий аэровокзалов

3. Речной вокзал Новосибирска: диалог города с водным пространством

Комплекс речного вокзала (1964–1974 гг.) – один из наиболее показательных примеров советского модернизма, где архитектура работает не как изолированный объект, а как градостроительный узел, формирующий связь города с рекой.

Градостроительная роль и формирование пространства.

Речной вокзал расположен в Октябрьском районе на берегу Оби. 12-этажная гостиница «Обь» и само здание вокзала стали масштабным ориентиром в открытом пространстве побережья. Композиционный приём – протяжённый горизонтальный объём – не разрушает логику набережной, а усиливает её. Окончательной точкой выступает вертикальная доминанта гостиницы, специально отодвинутая за здание вокзала, чтобы не перекрывать речную перспективу. Вокзал фиксирует линию берега, становясь точкой притяжения, узлом пересечения пешеходных, транспортных и водных потоков. Он работает как ориентир, считываемый как с воды, так и с города [9, 14].

Градостроительное решение предполагает размещение объекта на улице Добролюбова, на рельефе с уклоном к реке. Здание формирует перед собой площадь, выполняющую роль переходной зоны от городской среды к открытому речному пространству. Эта «пороговая» зона структурирует сценарии движения, позиционируя вокзал как границу между сушей и водой, между статичным городом и динамичным речным потоком. Комплекс интегрирован в рельеф берега Оби с учетом его перепадов. Архитектурное решение достигло баланса между искусственным и природным, используя разницу высот как элемент композиции, дополненный подпорными стенками, лестницами и пирсами. Масштаб площади ориентирован не столько на пешеходное восприятие, сколько на масштаб реки и окружающего ансамбля. Благоустройство территории выполнено в парковом стиле [1, 6]. Как и в случае с ГПНТБ и аэропортом, здесь доминирует ансамблевая логика.



Рисунок 5 – Образ места речного вокзала. Размещение на карте Новосибирска 1979 года

Однако, в следствии пожара, реконструкции и развития города объект потерял свою доминантную позицию и прямую связь с городом и улицей.

Архитектурный образ. Диалог с водным пространством – главная тема архитектуры вокзала. Здание строится как ответ на специфику реки: её горизонтальность и изменчивость.

Объёмно-пространственная композиция строится на контрасте горизонтали малоэтажного здания вокзала и вертикали гостиницы. Горизонтальность удачно «перебивается» вертикальным объёмом башни-рубки служебных помещений, что чётко разделяет здание на функциональные зоны.

Фасад со стороны города решён в более пластичных и массивных формах; со стороны реки комплекс – лёгкий по массе, образно и типологически выразительный – горизонтальным направлением линий неотъемлемо связан с ландшафтом, лестницами-спусками на пирсы и ассоциируется с речным лайнером [3, 13]. Сама идея символа теплохода не нова – она видна во многих проектах (например, в Омске, 1964 г.).

Входная зона отличается тщательной проработкой: прогнутая форма козырька охвачена двумя близко расположенными колоннами-арками. Гостиничный вход устроен похожим образом. Этот приём принципиально отличается как от распространённой схемы - вход под вынесенным объемом второго этажа, так и от козырьков, например, петербургского вокзала (прямая, глубоко выступающая плита на простых колоннах) (Рисунок 5) [9].

Сравнение с аналогами речных вокзалов: градостроительные узлы и сценарии входа. Новосибирский речной вокзал принадлежит к той ветви советского модернизма, где ансамблевость уступает место связи с рельефом и набережной, а здание мыслится не как «дворец», а как работающая инфраструктура. Вместе с петербургским речным комплексом он являет собой образец зрелого модернизма: лаконизм, сдержанность и экономическая рациональность подчиняют форму функции, конструкции и контексту. Уступая Омскому в «корабельной» романтике и Ульяновскому – в воздушной лёгкости, оба вокзала используют характерное для модернизма сочетание стеклянных витражей с железобетонными панелями и столбами.

Если ранние проекты зачастую обходились без гостиницы (ограничиваясь рестораном и площадью), то новосибирский и петербургский вокзалы представляют уже поздний модернизм (конец 1960-х–1970-х гг.), где приём вынесения высотной гостиницы как масштабного акцента становится характерным.

Это не классические ансамбли, а линейные ландшафтные комплексы с сильной связью с рельефом, набережной и парком. При их композиционном сходстве новосибирский вариант выигрывает градостроительной продуманностью: гостиница-доминанта отодвинута за здание вокзала, чтобы не перекрывать речную перспективу – приём, характерный для позднего модернизма. Среди всех

рассмотренных объектов в центре города находятся только новосибирский и омский вокзалы, причём лишь новосибирский замыкает перспективу улицы (Рисунок 6) [11, 12].



Рисунок 6 – Сравнительный анализ общественных зданий речных вокзалов

Таблица 1

Сводный архитектурный анализ

Наименование, год постройки	Особенности объекта
Новосибирская государственная публичная научно-техническая библиотека (ГПНТБ СО РАН) 1960–1966 гг.	Доминанта места, на возвышенности с площадью перед зданием, замыкающее перспективу улицы; ГПНТБ среди библиотек выделяется ориентацией на массового пользователя; Малоэтажное с прямоугольным силуэтом, горизонтально вытянутое здание; ГПНТБ выступает как центр, воплощая тяжесть знаний и «архитектуру вечности». Пластика строится на глубине, массе, статике и тектонической выразительности. Симметричное (относительно оси) Этот приём создаёт ощущение порядка и баланса. Вертикальные пилоны и горизонтальные членения создают образ «интеллектуальной крепости»; Общий образ – масштаба и значимости науки; Входная зона – глубокий горизонтальный выступ козырька на монотонной ритмичной поверхности фасада
Аэропорт «Толмачево» 1960–1963 гг.	Доминанта места, с площадью перед зданием, замыкающее перспективу проспекта; «Толмачёво» среди аэровокзалов выделяется брутальностью и массивностью козырька, минимальной декоративностью основного объема. Малоэтажное с прямоугольным силуэтом, горизонтально вытянутое здание; Аэровокзал «Толмачёво» выражает надёжность, порядок и движение. Пластика минимальна, но выразительна за счёт одного контрастного элемента – красного козырька. Композиция строится на контрасте, протяжённости и равномерном ритме, воплощая динамику и приглашение в полёт. Глобальная асимметрия, с локальной симметрией входной группы (Неравные по величине части располагаются так, чтобы создать зрительное равновесие и сохранить единство композиции); Общий образ – индустриального движения; Входная зона – массивное красное «крыло» козырька аэровокзала, образ траектории взлетающего самолёта
Речной вокзал с гостиницей «Обь» 1964-1974 гг.	Доминанта места, с площадью внутреннего двора, на понижающемся рельефе, замыкающее перспективу улицы; Речной вокзал выделяется градостроительной продуманностью (гостиница не перекрывает перспективу) и тщательной проработкой входных зон; Основной блок, выходящий на берег реки – малоэтажное с прямоугольным силуэтом, горизонтально вытянутое здание. Весь ансамбль построен на контрасте горизонтали малоэтажного и вертикали многоэтажного; Глобальная асимметрия, с локальной симметрией входной группы и торца гостиницы (неравные по величине части располагаются так, чтобы создать зрительное равновесие и сохранить единство композиции); Речной вокзал акцентирует процесс движения и перехода. Пластика подчинена ритму, лёгкости, протяжённости и взаимодействию с водной гладью, создавая образ речного лайнера; Общий образ – индустриального движения; Входная зона – прогнутая арка, охваченная двумя прямоугольными колоннами-арками, у речного вокзала

Выводы

Проведённое исследование полностью подтверждает центральный тезис: градостроительные и композиционные решения модернистских общественных объектов А.А. Воловика оказали значительное влияние на формирование городских узлов и образа места в Новосибирске. Архитектор последовательно реализовывал принцип «архитектуры места» (духа места), учитывая рельеф, климат и градостроительную ситуацию. Во всех трёх случаях здания Воловика выступают не изолированными объектами, а градостроительными узлами, формирующими новые общественные центры.

В-первых, Воловик сознательно использует замыкание перспективы (улицы, подъездного пути, набережной) как инструмент управления городским ландшафтом.

В-вторых, все три объекта выполняют центрообразующую роль: они организуют вокруг себя общественное пространство (площадь, партер, зоны отдыха). ГПНТБ формирует площадь с фонтанами, аэровокзал создаёт привокзальную площадь с автостанцией и цветниками, речной вокзал – парковую зону, связанную с набережной и пирсами.

В-третьих, ключевым приёмом Воловика является проработанный входной козырёк, который он превращает из утилитарной детали в главный пластический и смысловой акцент. Именно через него здание «вступает в диалог» с человеком. Козырёк служит «указателем масштаба».

В-четвёртых, объёмно-пространственная композиция и пластика трёх объектов демонстрируют различные, но взаимодополняющие типы архитектурных свойств в рамках единого направления модернизма. Общее для всех трёх объектов: укрупнение элемента, отказ от мелкой декоративности. Монументальная деталь (пилон, проём, козырёк) выражает смысл здания; масштаб детали соотносится с масштабом города, а не человека. Деталь не украшает форму – она формирует её.

В-пятых, сравнительный анализ с аналогами подтверждает, что Воловик не был новатором формы. Приёмы, которые он использовал (консольные навесы, сплошное остекление), были повсеместно распространены в советской и мировой практике. Однако главная заслуга Воловика – адаптация типовых решений к сибирскому контексту и превращение их в запоминающиеся архитектурные символы «сурового сибирского модернизма».

Таким образом, именно в трёх особенностях – центрообразующая роль, замыкание оси улицы, выразительный масштабный входной козырёк – проявляется неповторимый почерк Воловика, определяющий высокую историческую ценность этих объектов для архитектурной идентичности Новосибирска. Сохранение, актуализация и дальнейшее изучение этих «городских узлов» являются важной задачей современного средового дизайна и историко-архитектурной науки (Таблица 1).

Список использованных источников

1. Баландин, С. Н. Новосибирск: История градостроительства 1945–1985 гг. / С. Н. Баландин. – Новосибирск: Книжное издательство, 1986. – 155 с.
2. ГАНО Ф. 1831. Оп. 3. Д. 94
3. ГАНО Ф.751. Оп. 3. Д. 157-159.
4. ГАНО Ф. Р-1831. О.3. п/п 1, 7.
5. ГАНО Ф. Р-2354. Оп. 5. Д. 94, 50
6. Гутнов, А. Э. Мир архитектуры: (Язык архитектуры) / А. Э. Гутнов, худож. М. Розенберг. – Москва: Молодая гвардия, 1985. – 351 с.
7. История аэропорта // Аэропорт «Толмачево». URL: https://tolmachevo.ru/ (дата обращения: 21.10.2018)
8. Кисельникова, Д. Ю. Проявление эстетики советского модернизма в архитектуре Новосибирска конца XX века / Д. Ю. Кисельникова, В. Н. Филиппов. – Баландинские чтения, 2019. Т.13. С. 120–126.
9. Личный архив Е.А. Воловик.
10. Новосибирская государственная публичная научно-техническая библиотека // NOVOSIBDOM. URL: https://nsk.novosibdom.ru/node/286 (дата обращения: 11.12.2024)
11. Архивные карты // Retromap. URL: https://retromap.ru/1419798_z16_54.993754,82.682150&w=pv&leftback=51&p=61 (дата обращения: 11.12.2024)
12. Фотографии прошлого (архивные фото) // RetroView. URL: https://pastvu.com/p/1869322 (дата обращения: 01.12.2025)
13. Фремптон, К. Современная архитектура: Критический взгляд на историю развития // К. Фремптон, пер. с англ. Е.А. Дубченко; под ред. В.Л. Хайта. – М.: Стройиздат, 1990. – 535 с.
14. Швецова, Е.С. Речной вокзал // Библиотека сибирского краеведения. URL: https://bsk.nios.ru/content/rechnoy-vokzal (дата обращения: 11.12.2024)
15. Шемшурина, М.Е. Ритм в архитектуре // Вопросы теории архитектурной композиции / М.Е. Шемшурина. – Кн. изд-во Москва, 1958. – Сборник №2. – С. 27-58.

УДК 726.5
67.07.11 Национальные особенности архитектуры
67.07.29 Памятники архитектуры. Мемориальные комплексы

КЛАССИФИКАЦИЯ КУПОЛОВ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ: ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КУПОЛОВ ХРАМОВ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ельчищева Татьяна Федоровна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Архитектура и градостроительство»,
e-mail: elschevat@mail.ru

Вольнов Роман Валерьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант,
e-mail: bornetvol@yandex.ru

Статья посвящена исследованию классификации куполов православных храмов Тамбовской области. Основное внимание уделяется типам куполов – луковичным, шатровым и шлемовидным – а также их архитектурным характеристикам. На основе комплексного историко-архитектурного анализа определено общее количество куполов, количество епархий в Тамбовской митрополии Тамбовской области и храмов в каждой епархии, а также проведена типологическая классификация куполов с количественным распределением по митрополиям.

Православная храмовая архитектура России отличается богатым разнообразием форм купольных завершений, которые несут в себе как сакральный, так и художественно-исторический смысл. В Тамбовской области, расположенной в центре Европейской части России, православие имеет глубокие корни, уходящие в XVII–XVIII века [4, 5]. Купола местных храмов отражают эволюцию архитектурных стилей – от ранних шлемовидных форм до распространенных в XIX веке луковичных и сферических завершений [3].

Проблема исследования заключается в отсутствии полной систематизированной классификации куполов храмов Тамбовской области с точными количественными показателями. Существующие работы посвящены в основном отдельным памятникам или общим тенденциям русской архитектуры, но не учитывают региональную специфику.

Актуальность работы обусловлена необходимостью сохранения и реставрации архитектурного наследия, а также подготовки научных обоснований для проектов восстановления утраченных элементов храмов.

Цель исследования – определить общее количество куполов в Тамбовской области, число епархий, количество храмов в каждой епархии, провести классификацию куполов и установить их количество в каждой епархии.

Задачи: 1) выявить состав епархий в Тамбовской митрополии; 2) определить число храмов в епархиях; 3) выявить типологию куполов; 4) провести количественный и картографический анализ.

Состав Тамбовской митрополии

Тамбовская митрополия была образована решением Священного Синода от 26 декабря 2012 г. (журнал № 127) [1]. В ее состав, наряду с Тамбовской епархией, вошли две новые епархии: Мичуринская и Уваровская [2]. Границы митрополии совпадают с административными границами Тамбовской области. На карте (Рисунок 1) Российских православных церквей (РПЦ) Тамбовская митрополия обозначена епархиями под номерами 92, 93, 94.

Тамбовская епархия охватывает центральные и восточные районы области, Мичуринская – западные и юго-западные территории, Уваровская – юго-восточные районы (Уварово, Жердевка и прилегающие территории).

На Рисунке 2 представлена карта Тамбовской митрополии (схематическое изображение), где желтым цветом обозначена территория Тамбовской епархии, синим – Мичуринской епархии, а зеленым – Уваровской епархии. Карта составлена на основе официальных данных Русской Православной Церкви.

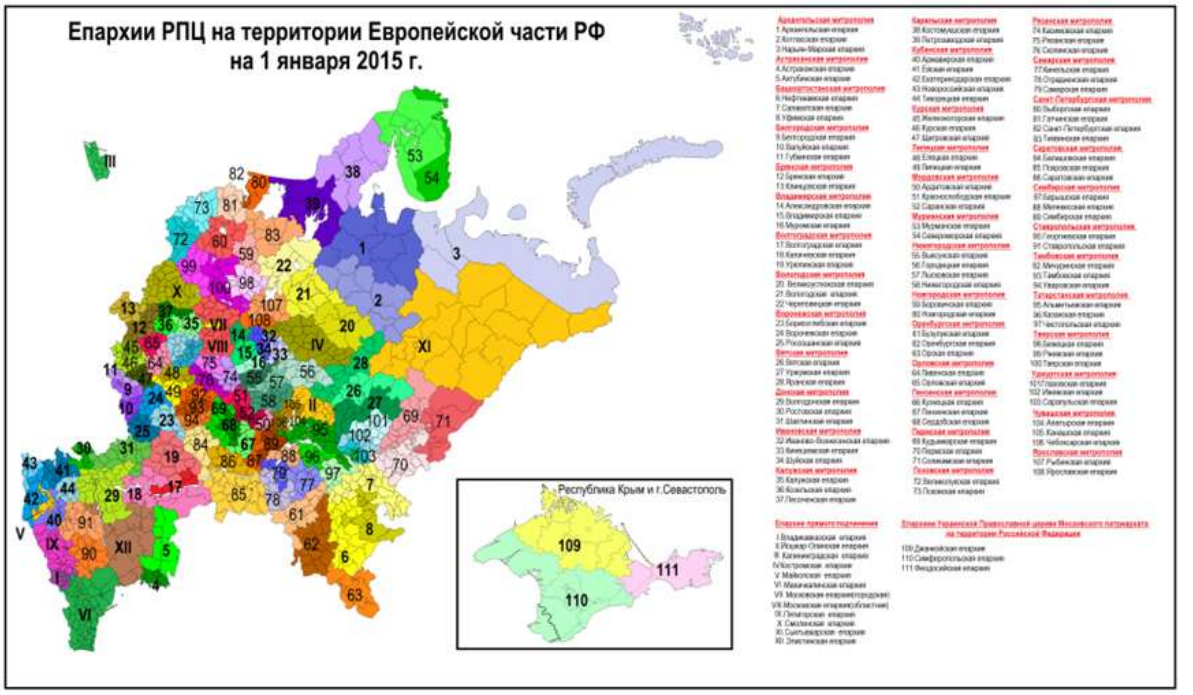


Рисунок 1 – Епархии РПЦ на территории Европейской части РФ на 1 января 2015 г.



Рисунок 2 – Митрополии Тамбовской епархии

Исследование проводилось с использованием комплексного подхода, сочетающего историко-архивные исследования и натурные наблюдения. Основными источниками послужили официальные документы Тамбовской митрополии, данные с сайтов епархий, публикации в электронных библиотеках, Президентская библиотека) и натурные обследования 87 храмов митрополии.

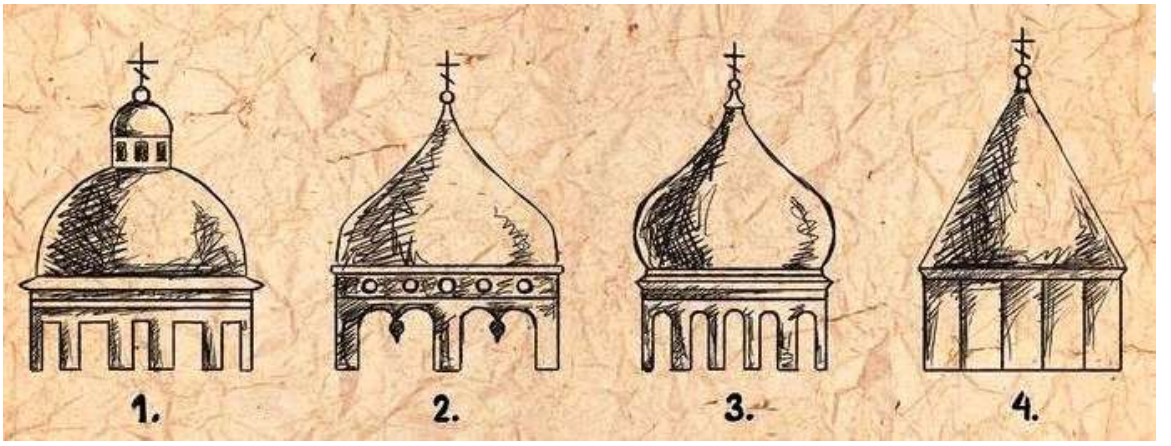
Классификация куполов выполнялась по двум параметрам:

- форме – сферические, шлемовидные, луковичные, шатровые (рисунок 3);
- по историческим периодам строительства.

Статистическая обработка данных проводилась с применением таблиц и диаграмм. Для картографического анализа использовались схемы границ епархий и размещения храмов.

Результаты исследования.

В Тамбовской области действуют три епархии. Общее число храмов составляет 412 [8]. Общее количество куполов – 1857. Распределение храмов и куполов по епархиям Тамбовской митрополии представлено в таблице 1.



1 – сферические; 2 – шлемовидные; 3 – луковичные; 4 – шатровые

Рисунок 3 – Формы куполов православных храмов:

Таблица 1

Распределение храмов и куполов по епархиям Тамбовской митрополии

Епархия	Количество храмов	Общее количество куполов	Среднее число куполов на храм
Тамбовская	95	75	4,5
Мичуринская	34	12	4,6
Уваровская	3	70	4,5

Классификация выявила четыре основных типа куполов: луковичные (62 %), шлемовидные (23 %), сферические (11 %) и шатровые (4 %). Количество куполов по типам и епархиям представлено в таблице 2.

Таблица 2

Количество куполов по типам и епархиям

Тип купола	Епархии Тамбовской митрополии			Всего
	Тамбовская	Мичуринская	Уваровская	
Луковичный	534	389	228	1151
Шлемовидный	201	129	97	427
Сферический	96	69	39	204
Шатровый	44	25	6	75

Полученные данные согласуются с исследованиями по Центрально-Черноземному региону [7]. Преобладание луковичных куполов характерно для большинства епархий Центральной России за период XIX–XX веков [6]. Ограничением исследования является неполнота данных по сельским храмам и утраченным памятникам. Работа имеет практическое значение для разработки программ реставрации [9] и охраны объектов культурного наследия Тамбовской области.

В результате исследования определено количество храмов в каждой епархии, общее количество куполов храмов в епархиях Тамбовской области, а также проведена классификация типов куполов с распределением по епархиям.

Список использованных источников

1. Журналы заседания Священного Синода от 25-26 декабря 2012 г. – Режим доступа: https://www.patriarchia.ru/article/96818 (дата обращения 12.05.2026).

2. Официальный сайт Московского Патриархата. – Режим доступа: https://www.patriarchia.ru/article/98768 (дата обращения 12.05.2026).

3. Барковский, В. А. Купольные завершения в русской храмовой архитектуре XVII–XIX вв. / В. А. Барковский, // Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2018. – № 4. – С. 18–29.

4. Бондаренко, И. А. Русская церковная архитектура XVII века: формы и символика / И. А. Бондаренко. – М.: Ленанд, 2016. – 312 с.

5. Гуляницкий, Н. Ф. Русская храмовая архитектура / Н. Ф. Гуляницкий, – М.: Архитектура-С, 2008. – 480 с.

6. Лисовский, В. Г. Архитектура России XVIII – начала XX века. Поиски национального стиля / В. Г. Лисовский. – М: Белый Город, 2009. – 568 с.

7. Макаров, А. В. Региональные особенности церковного зодчества Центрального Черноземья в XIX веке / А. В. Макаров / Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2020. – Т. 25. – № 4. – С. 67–78.

8. Павлов, В. В. Православные храмы Тамбовской губернии: история и архитектура / В. В.Павлов. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. – 256 с.

9. Подъяпольский, С. С. Реставрация памятников архитектуры / С. С. Подъяпольский. – М.: Стройиздат, 1988. – 264 с.

10. Russian Orthodox church architecture: How to read its sacred elements (INFOGRAPHICS). – Режим доступа: https://tr.pinterest.com/pin/russian-orthodox-church-architecture-unraveling-its-sacred-elements--674414112973436379/ (дата обращения 12.05.2026).

УДК 711.5

67.25.25: Благоустройство населенных мест. Зеленое строительство

67.25.21: Планировка и застройка зон отдыха и туризма, природных парков и заповедных территорий

МАЛЫЕ РЕКИ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕПЦИИ ОБЛАСТНЫХ ЦЕНТРОВ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ельчищева Татьяна Федоровна,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Архитектура и градостроительство», e-mail: elschevat@mail.ru

Кусова Вероника Дмитриевна,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, e-mail: veronikakysova@inbox.ru

Река – природный водный поток значительных размеров с естественным течением по руслу от истока вниз до устья [6]. Реки являются важным элементов круговорота воды в природе, они собирают внутренние и поверхностные потоки и отводят их в общий сток. Неправильное распределение природных водных ресурсов влечет к подтоплению территорий, разрушению фундаментов зданий и ухудшению санитарно-эпидемиологического состояния застройки города.

Территория центрального региона Черноземья богата на ручьи, речки и реки. При застройке упомянутой территории использовались методы, нарушающие естественный отток воды. Водные ресурсы просто осушались и засыпались, что теперь приводит к периодическим затоплениям. При старой застройке территория приспосабливалась под город, а не город под природное расположение водных ресурсов.

В старые времена реки, речки и ручьи были жизненно важным ресурсом, в них стирали вещи и купались. Позже с приходом водопровода надобность «ходить на речку за водой» отпала, и водные системы имеют историческую и ландшафтную ценность.

Города Центрально-Черноземного региона РФ имеют множество водных путей с интересной историей.

В качестве первого примера в статье рассматривается река Студенец, протекающая в городе Тамбове Тамбовской области. История основания города Тамбова связанна с двумя реками – Цной и Студенцом, именно на пересечении этих водных путей была заложена первая деревянная крепость (Рисунок 1). В Тамбове была разрушена цепочка питания Студенца, на это сильно повлияли

антропогенные факторы, что привело к его заметному измельчанию.



Рисунок 1 – Река Студенец на карте г. Тамбова

Река Студенец проходит практически через весь город Тамбов, что дает большие перспективы для развития благоустройства и повышения качества жизни близлежащих районов. Длина набережной реки Цны – 2,8 км, а длина береговой линии реки Студенец – 7 км. В городе Тамбове существует возможность сделать пешую магистраль общей длиной 9,8 км, которая снизит общую температуру городской среды и позволит сохранить исторически важный объект [6].

Реки городов Центрально-Черноземного региона (Белгород, Брянск, Воронеж, Курск, Липецк, Орел)

Рассмотрим реку Везёлку, протекающую в городе Белгород. Река так же, как и Студенец. протекает через половину города (Рисунок 2). Везёлка впадает в реку Северный Донец. Этот водный путь имеет благоустроенную набережную в границах от Кашарского проезда и до устья.

Река «по паспорту» имеет другое название, а именно Белховец. Изначально в документах водный путь упоминался под разными названиями, и только к 18 веку название Везёлка закрепилось за рекой. В 18 веке водный ресурс был невелик – не шире 10 м и не глубже 3,5 м. В то же время берега реки стали застраивать. Первым строением был женский Рождество-Богородицкий монастырь, земли которому пожертвовал майор Дренякин [1].

Состояние реки в 18 веке желало лучшего. По весне ручьи с городских улиц несли в себе в реку все следы жизнедеятельности. Усугубляло положение качества воды наличие промышленных предприятий на прибрежной территории. В Везёлку сливались отходы с пивоварни Эсслингера, грязная вода после промывки шерсти на предприятии Соловьевых, отходы с кожевенного завода купца Дубина и близлежащих скотобоен.

После Октябрьской революции река была сильно заболочена, в камышах появилось большое количество малярийных комаров, что привело к вспышке эпидемии малярии. Местные власти решили бороться с комарами и сливали в реку бочки с нефтью, в борьбе против источника болезни использовали авиацию. Аэропланы опыляли территорию инсектицидом, содержащим мышьяк.

В 1930–1950 гг. ширина реки, заросшей травой и болотной растительностью, составляла не более метра. В конце 1960 – начале 1970 гг. Советская власть приняла решение о восстановлении реки. Везёлку расчистили, углубили дно. Данные работы были связаны с возведением на левом берегу Везёлки парка Победы [1].



Рисунок 2 – Река Везёлка в г. Белгороде

В 2017–2018 гг. территория набережной реки Везёлки в границах от Кашарского проезда и до проспекта Ватутина была благоустроена в рамках федеральной программы «Формирование комфортной городской среды». Проект разработал институт «Стрелка», г. Москва. Территория была четко разделена на зоны. Участок возле парка Победы и кафе «Котофей» отведен для детских площадок, территория возле БГУ – для студентов, а для тихого отдыха была выделена земля возле музея-диорамы.

По просьбам граждан на набережной были организованы две детские площадки, одна – для выгула собак и одна – спортивная.

Следующим примером был рассмотрен город Брянск и река Болва (Рисунок 3). Река едва касается границ города, словно эту территорию хотят оставить нетронутой. Эта земля имеет большой потенциал к благоустройству и возможность стать одной из жемчужин города. Данный участок отлично подходит для комплексного развития территории при расширении и объединении территории города Брянска.

В 18 веке эту реку использовали в судоходстве. В рамках освоения данной территории Российской империи выше по течению строили железоделательные заводы и, позже, судостроительные верфи, стоящие на пересечении реки Болвы и Десны.

В 1870 г. был открыт водный торговый путь Болва – Десна – Днепр – Черное море. Река мельчала в зависимость от сезона, и промышленником Мальцовым был придуман способ сохранения судоходности реки методом поднятия шлюзов и забора воды из прудов [3].

С запуском железнодорожной дороги 1877 г. река Болва потеряла свою значимость для промышленности. На данный момент река имеет прекрасную природу на своих берегах и используется в туристических целях для сплавов на байдарках.

В Воронеже протекает река Песчаный Лог, которую люди иронично называют «Голубым Дунаем». На деле Песчаный Лог является рассадником неприятных ароматов (Рисунок 4).

«Голубой Дунай» протекал по городу в районе современных улиц Вокзальной и Республиканской и впадал в реку Дон [4].

В реку сбрасывали и продолжают сбрасывать промышленные и канализационные отходы, мусор и нефтепродукты. А ведь Песчаный Лог располагается в границах города. Смрад от реки достигает жилой застройки, что вызывает недовольство у жителей, которые видят только одно решение в данной ситуации – это убрать ручей в трубы.

Ближе к устью реки организованны искусственные пороги.



Рисунок 3 – Река Болва в г. Брянске



Рисунок 4 – Река Песчаный лог в г. Воронеже

В городе Курске тоже есть интересная река – Тускарь. В 1782 г. и раньше водный ресурс был невелик. Только со строительством мельницы на реке полноводность Тускаря увеличилась. В то же время началось переустройство г. Курска и застройка берегов реки (Рисунок 5).

Строительство железной дороги 1868–1978 гг. сильно повлияло на количество воды в реке Тускарь. В начале 20 века на береге Тускаря была построена крупная электростанция. Мельницы в те времена закрывались на ремонт, и воду спускали в реку. Состояние реки Тускарь на тот момент было таким, что реку можно было перейти вброд [2].

Над проблемой мелководья реки Тускарь стали размышлять еще в начале 19 века. Было предложено несколько проектов для решения проблемы, один из них подразумевал глухой проток реки Кривец соединить с рекой Сейм и построить ниже по течению плотину. Но решить проблему не получилось, денежных средств на строительство в городском бюджете не было, сначала строительство Мариинского водного пути по Сейму, потом Крымская война, а дальше – строительство железной дороги.

Только в 2025 г. началась расчистка реки Тускарь и ее берегов. Из вод реки достают ил, бревна и

строительный мусор. Работы планируются завершить в 2027 г.



Рисунок 5 – Река Тускарь в г. Курске

Река Липовка в городе Липецк имеет интересную историю. В древние времена река была местом водосбора питьевой воды. Обмельчание Липовки краеведы связывают с пересыханием ключей, бивших из земли. Полноводность реки доказывают снимки немецких летчиков (Рисунок 6).

Срез породы в верховьях Каменного Лога показали 30–40 метровые прослойки песка и глины, исходя из чего геологи сделали вывод, что на этом месте протекала старинная река и Липовка может быть ее реликтом.

Так же интересно, что река имеет три истока. Первый приток расположен в парке 27 микрорайона, второй находится между шоссе Р-119 и улицей Московской, третий – в месте моста по улице Неделина.

На данный момент реку Липовку обследуют, в ней нашли пары углеводорода, сероводорода и взрывоопасных газов. Местные власти хотят найти проблемные участки, организовать очищение воды и берегов реки.



Рисунок 6 – Река Липовка в г. Липецк

Река Орлик в городе Орле имеет такую же историческую ценность, как и река Студенец для Тамбова. В 1566 г. по приказу царя Ивана Грозного на пересечении реки Оки и Орлика была заложена крепость. Деревянное оборонительное сооружение построили для защиты от крымско-ногайских набегов с южной стороны (Рисунок 7).

На берегу реки в 1946 г. была построена водная станция, позже, в 1956 г. для продолжения спортивного комплекса на левой стороне Орлика построили здание.

Про реку Орлик не забывали на прояжении ее существования, в старинные времена на ее берегах располагались купеческие домики, торговые ряды и лавки. Через Орлик были перекинуты мосты, которые, к сожалению, не сохранились до наших дней [5].

17 сентября 1966 г., в честь 400-летия основания города, на пересечении рек Орлик и Ока был сооружен памятный комплекс. Место для мемориала выбрано символическое, участок представляет собой «стрелу», где левую часть образует река Орлик, а правую – река Ока. Площадка под памятник расположена на верхней точке рельефа, что делает композицию более величественной, к нижней точке (ближе к воде) спускается двух маршевая парадная лестница. Сам 27- метровый обелиск имеет простую форму вертикального прямоугольника, выполненного из светло-серого гранита. С восточной стороны монумента располагается древний герб города Орла, с западной стороны, обращенной к воде, написана летопись и изображена золотая ленточка, символизирующая фейерверк Великой Победы 1945 г.

На берегах реки раскинулись четыре парка: Детский, Орловская крепость, Дворянское гнездо и Победы. А также три сквера: Коммунальников, Лескова и Семьи. Орлик имеет свою благоустроенную набережную по двум берегам с дорожками из твердого покрытия. Берега реки соединяют пять мостов: Подвесной, Александровский, Тургеневский, Белый лебеди и Колхозный.

Город Орел – отличный пример заботы о малых реках, жители прекрасно понимают, что необходимо сохранить важную частичку истории и природы.

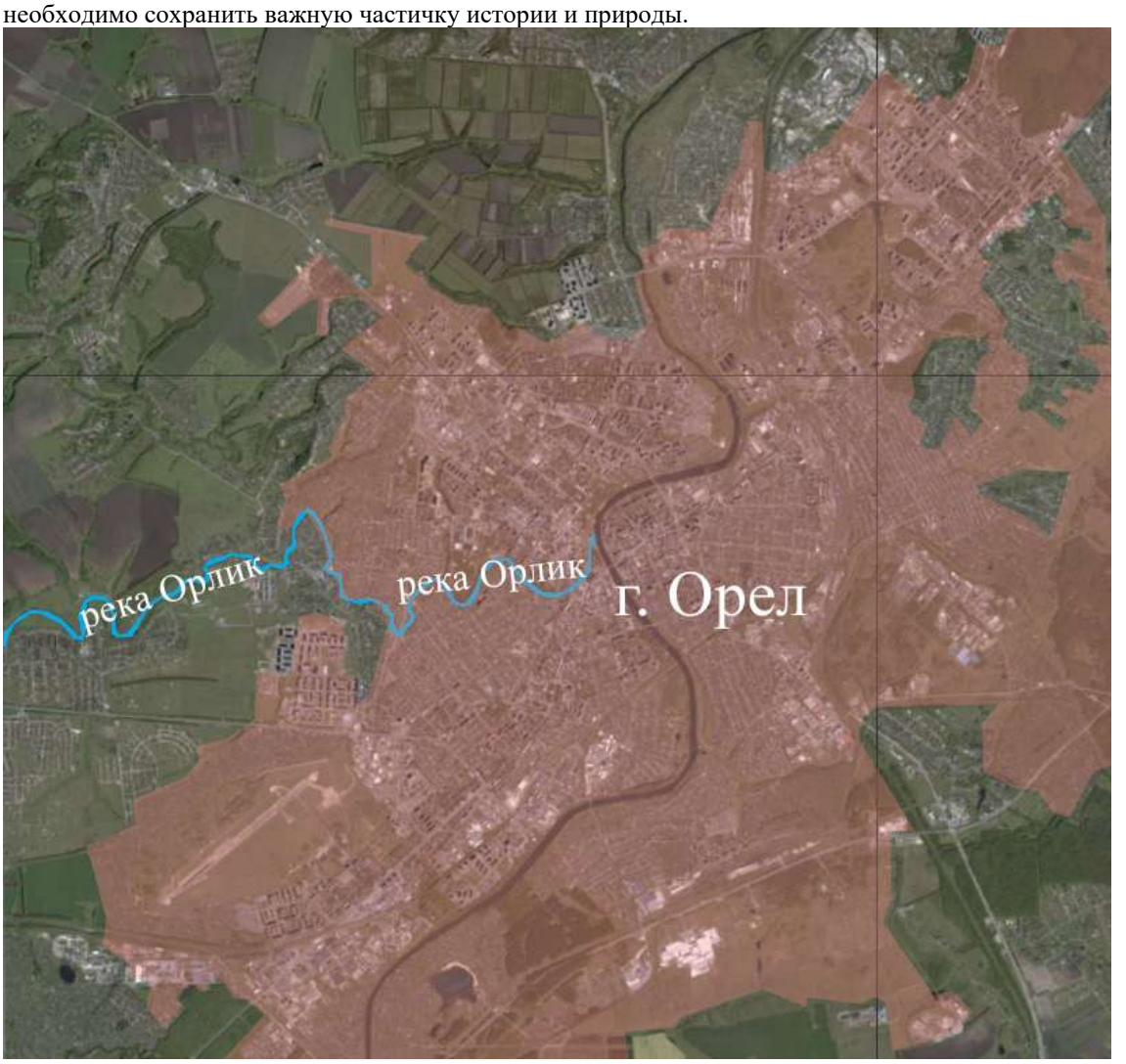


Рисунок 7 – Река Орлик в г. Орле

В статье обозначена краткая историческая справка о малых реках областных центров центральной части Черноземья, но даже эта информация дает представление о состоянии водных ресурсов и их значимости для истории городов и жителей. Из отношения людей к рекам становится ясно, что не все понимают значимость экосистемы прибрежных территорий и перспективы, которые они могут привнести. Население городов бездумно считает большинство малых рек «аппендиксом» и считает, что проще засыпать овраг или убрать воду в трубы, забывая о том, что вмешательство в сложившуюся экосистему приводит к проблемам во многих сферах жизни [5].

Заключение

Малые реки областных центров центральной части Черноземья очень схожи по своему территориальному расположению и историческому значению. Половина городов из рассмотренных примеров нашла подход к благоустройству водных путей, а другая находится на пути к сохранению водных ресурсов (Рисунок 8).

Стоит отметить, что большое значение принадлежит общественному мнению горожан, к примеру в 2025 г. в рамках федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» большинство голосов получило развитие реки Студенец в границах улиц Советская, Студенецкая набережная, Рассказовское шоссе и Бориса Фёдорова. Под благоустройство выделен участок в размере 3,4 га. Это небольшой участок относительно всей территории набережной реки, но это уже начало. Проект планируют реализовать к зиме 2026 г.

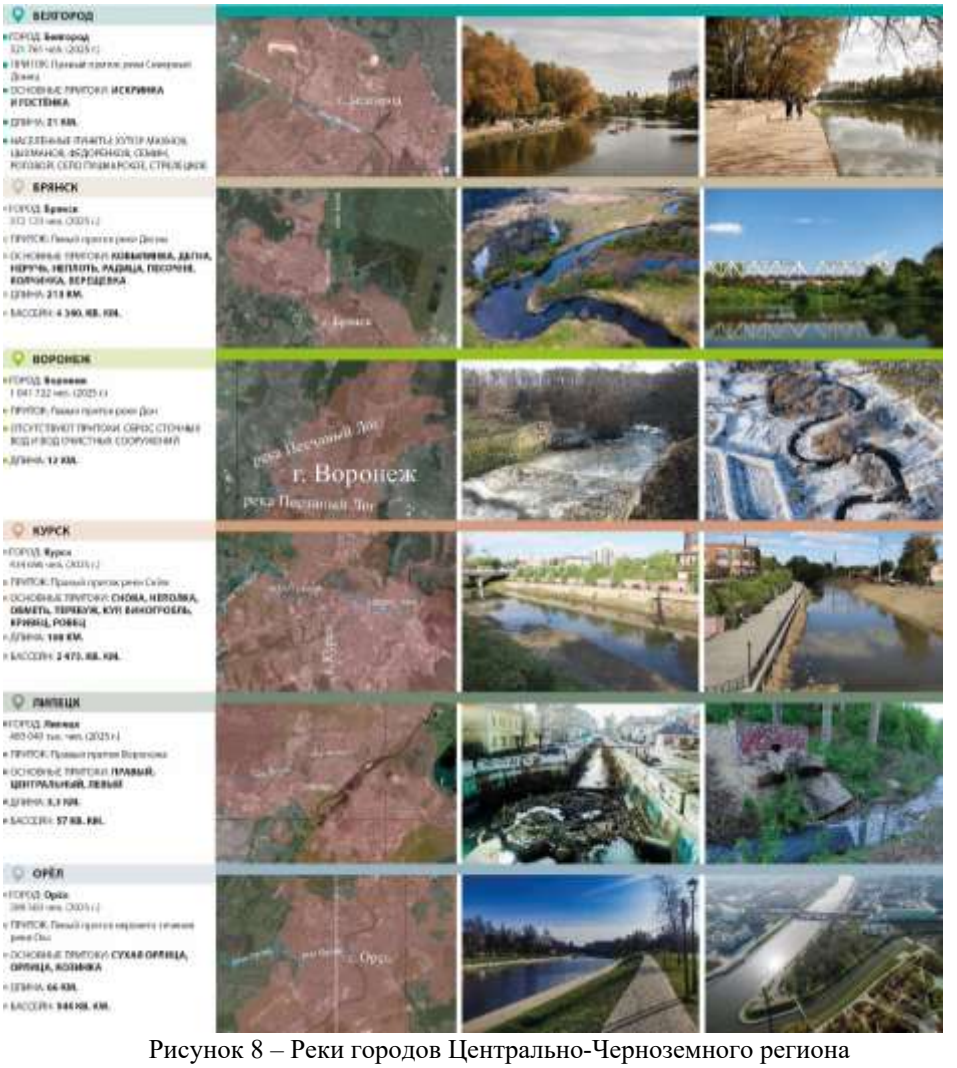


Рисунок 8 – Реки городов Центрально-Черноземного региона

В период зарождения городов река была одним из важных элементов планировки и обеспечения жителей, она имела оборонительную, хозяйственную и транспортную функцию [5]. Сейчас малыми шагами население городов осознает значимость существующей экосистемы, сложившейся исторически в городе.

Список использованных источников

1. Белгородоведение: учебное пособие / А.Н. Петин, А.И. Папков, И.В. Партолин и др. – Изд. 2-е, испр. – Белгород : «КОНСТАНТА», 2016. – 250 с.
2. Буковский, М.Е. Методика изучения и геоэкологической оценки земель малых городов / М.Е. Буковский. – Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – №3(9). – 2007. – С. 36–40.
3. Городков, А.В. Брянск: очерки истории архитектуры города / А.В. Городков, С.В. Ушкалов, Е.С. Ильченко. – Брянск, 2018. – 100 с.
4. Городу Воронежу – 425 лет / Воронеж. обл. универс. науч. б-ка им. И. С. Никитина ; Зонал. науч. б-ка Воронеж. гос. ун-та ; ред.-сост.: Л.Ю. Акиньшина, О.Б. Калинина, Т.И. Шишкина, Е.П. Гришина, Т.П. Семёнова ; науч. ред. А.Н. Акиньшин. – Воронеж : Центр.-Черноземье. кн. изд-во, 2011. – 144 с.
5. Оценка качества воды поверхностных водотоков бассейна реки цны с применением методов биоиндикации / М. Е. Буковский, Н. Н. Коломейцева, А. Ю. Клоков, А. А. Олейников // Вестник тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – Тамбов : Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, 2011. – С. 638–642.
6. Тамбов вчера и сегодня. Историческая справка // Наш город. Администрация города Тамбова Тамбовской области. – Режим доступа: https://city.tambov.gov.ru/nash-gorod/tambov-vchera-i-segodnja (дата обращения 04.04.2026 г.).

УДК 725.56 (66)
67.07.11: Национальные особенности архитектуры

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧРЕЖДЕНИЙ СОЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ДЛЯ ПОЖИЛЫХ, ОРИЕНТИРОВАННЫХ НА СПЕЦИФИКУ АФРИКАНСКОГО КОНТИНЕНТА

Астриде Эунидисе Шарлотте Зокподо,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», магистрант,
e-mail: zastride@yandex.ru

Шашкова Татьяна Ивановна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
доцент кафедры «Теории и практики архитектурного проектирования»,
e-mail: shashkowati@yandex.ru

Рассматриваются принципы разработки стратегии проектирования и строительства учреждений для пожилых людей, адаптированных к условиям Африканского континента. Особое внимание уделяется учету климатических особенностей, культурного разнообразия, ограниченности ресурсов и организации системы здравоохранения. Исследуются вопросы интеграции местных традиций, применения устойчивых архитектурно-строительных решений и вовлечения местных сообществ в процесс проектирования и эксплуатации объектов. Делается вывод о необходимости адаптации универсальных западных моделей к гибким и контекстуально ориентированным подходам, соответствующим социальным, экономическим и природно-климатическим условиям региона.

Ключевые слова: учреждения для пожилых людей, африканская архитектура, биоклиматический дизайн, адаптивная методология, межпоколенческая интеграция, культурная адаптация.

Введение

Современная демографическая ситуация в Африке претерпевает глубокие трансформации, характеризующиеся продолжающимся старением населения в некоторых регионах, несмотря на относительно молодое население континента. По данным Всемирного банка, к 2050 году численность населения старше 60 лет в странах Африки к югу от Сахары увеличится более чем на 200% [3]. Эти демографические тенденции усугубляются изменениями в традиционных семейных структурах из-за урбанизации (до 3,5% к 2025 году [1]) и трудовой миграции, что серьезно ограничивает возможности расширенных семей по уходу за пожилыми людьми.

В то же время инфраструктура, необходимая для удовлетворения потребностей пожилых людей, в значительной степени недостаточна [7]. Всемирная организация здравоохранения прогнозирует, что к 2050 году 80% пожилого населения мира будет проживать в странах с низким или средним уровнем дохода, что подчеркивает острую необходимость разработки решений, адаптированных к африканскому контексту [7]. Цель данной статьи — разработка ключевых принципов регионального подхода к проектированию учреждений для пожилых людей в Африке, включая выявление специфических местных контекстуальных особенностей, анализ недостатков стандартных подходов и предложение соответствующих архитектурных и социокультурных решений.

Анализ специфики африканского контекста

Проектирование должно основываться на хорошем понимании местной специфики.

– **Климатические и экологические особенности:** Большая часть континента характеризуется высокими температурами, сильным солнечным излучением, необходимостью естественной вентиляции, а также сезонами дождей и высокой влажностью. Доступ к воде и управление ею являются ключевыми факторами. Обилие местных строительных материалов (земля, дерево, камень) является не недостатком, а, наоборот, огромной возможностью для надлежащего строительства. Следует подчеркнуть, что повышенная уязвимость к нехватке продовольствия и болезням из-за изменения климата представляет собой риск для здоровья уязвимых групп населения в этих регионах, особенно пожилых людей [5].

– **Социально-культурные особенности:** Африка отличается этническим, языковым и культурным разнообразием. Здесь основополагающими являются понятия семьи и расширенного сообщества («Убунту» в Южной Африке, «Теранг» в Сенегале). Старейшины часто выступают хранителями знаний и культуры. Следует учитывать разнообразие религиозных и духовных традиций, а также местных пищевых обычаев. Антропологические исследования подчеркивают разнообразие представлений о старении в разных африканских обществах («старения в африках») [2].

– **Экономические особенности:** Экономические ограничения и необходимость оптимизации затрат на строительство и техническое обслуживание требуют сбалансированного подхода. Поиск надежных и эффективных источников энергии часто представляет собой сложную задачу. Это обуславливает необходимость разработки гибридных моделей финансирования, сочетающих государственное финансирование, поддержку НПО и частные ресурсы.

Критика существующих подходов и вызовы

– **Неадаптированные западные модели:** имеют закрытый корпус, кондиционеры и низкую энергоэффективность. Они могут изолировать жителей от привычной среды, игнорировать местные нормы и традиции, а также влечь за собой высокие эксплуатационные расходы, что делает их плохо приспособленными к африканским условиям.

– **Основные вызовы при проектировании:**

- Сочетание современного комфорта с традиционной культурой.
- Создание баланса между личным и общим пространством.
- Сочетание семейного и профессионального ухода.
- Обеспечение устойчивости инфраструктуры в случае нехватки ресурсов.

Принципы проектирования учреждений

– **Архитектурно-планировочные принципы:**

- **Биоклиматический дизайн:** Удачная ориентация здания, естественная сквозная вентиляция, элементы защиты от солнца (бриз-солей, широкие карнизы крыши), теплоизоляция.
- **Использование местных материалов:** Земляные работы (Banco), камень, местная древесина для снижения затрат, выбросов углекислого газа и экологичности.
- **Интеграция с ландшафтом:** Сбалансированное использование существующих природных элементов – топографии, водных ресурсов (включая сбор дождевой воды) и растительности – вместо их полной трансформации.
- **Открытость и связь с сообществом:** Создание многофункциональных пространств (террас, садов, пешеходных дорожек), открытых для публики, чтобы они стали местом для общения, а не местом уединения.
- **Модульность и гибкость:** Гибкая конструкция, позволяющая хорошо адаптироваться к меняющимся потребностям.

– **Социально-организационные принципы:**

- **Общинный подход:** Это место должно служить не только центром содержания под стражей, но и пространством для общественных работ. Это соответствует призыву ВОЗ к созданию систем ухода, которые объединяют услуги здравоохранения и социальной помощи [7].
- **Участие пожилых людей и местных жителей:** Вовлекайте заинтересованные стороны в процесс разработки (проектирование с участием общественности), чтобы гарантировать, что проект отвечает их конкретным потребностям.
- **Учет культурных и духовных практик:** Создавать места для религиозных служб (часовни, мечети), места для традиционных церемоний и сады для выращивания лекарственных растений.
- **Интеграция поколений:** Предоставлять молодым людям и детям привлекательные места (игровые площадки, библиотеки, мастерские) для решения проблемы возрастных различий, которые Всемирная организация здравоохранения считает серьезной проблемой [6].

Предлагаемая методология проектирования

Методология является итеративной и соучаствующей.

– **Этап 1:** Предпроектное исследование и анализ:
- Углубленный анализ местного контекста (климат, культура, ресурсы, заинтересованные стороны).
- Консультации со старейшинами, членами семьи, лидерами общины и медицинскими работниками.
- Выявление конкретных потребностей и существующей неформальной поддержки.

– **Этап 2:** Концептуальное проектирование:
- Определение модели лечения (смешанного, общинного).
- Разработка архитектурной концепции на основе анализа.
- Согласование концепции с сообществом.

– **Этап 3:** Техническое проектирование и выбор материалов:
- Реализация архитектурно-технических проектов.
- Выбор простых, устойчивых материалов и технологий.
- Планирование поэтапного осуществления строительных работ.

– **Этап 4:** Реализация и участие сообщества:
- Мобилизация местной рабочей силы для повышения уровня принятия и профессионализации.
- Повысить осведомленность сотрудников о специфике проекта и его культурных особенностях.

– **Этап 5:** Эксплуатация и оценка:
- Внедрение устойчивой системы управления.
- Улучшение предоставления услуг и инфраструктуры посредством непрерывного мониторинга и оценки. Это подчеркивает необходимость создания надежной системы сбора данных для понимания положения пожилых людей в Африке, как показали исследования [4].

Заключение

Данное исследование показывает, что эффективность учреждений для пожилых людей в Африке зависит от их адаптации к местным реалиям, а не от прямого применения международных моделей. Ключ к успеху заключается в масштабности модели, что демонстрирует ее гибкость и способность учитывать специфику каждого субрегиона.

Углубленные исследования и технические принципы, специфичные для различных климатических и культурных регионов Африки, открывают перспективы на будущее. Не менее важно отслеживать и оценивать долгосрочный успех предлагаемых моделей, чтобы определить их эффективность и масштабы применения.

Список использованных источников

1. *Banque mondiale blogs.* Новый взгляд на демографическое старение: действия в условиях забытого мегатренда / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blogs.worldbank.org/fr/voices/penser-autrement-vieillissement-demographique-agir-face-megatendance-negligee (дата обращения: 03.05.2026).

2. *Calenda.* Для введения в изучение старения в Африке – Журнал «Геронтология и общество» – 2017. –N°158 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://calenda.org/405351 (дата обращения: 04.05.2026).
3. *Croissance Afrique.* Африка: уровень урбанизации достигнет 3,5% к 2025 году / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://croissanceafrique.com/afrique-le-taux-durbanisation-a-atteint-un-seuil-de-35-en-2025 (дата обращения: 03.05.2026).
4. *OpenEdition Books.* Статистические методы и социальные формы в странах Африки к югу от Сахары / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://books.openedition.org/pul/37272?lang=en (дата обращения: 06.05.2026).
5. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО). Климат и здоровье в Африке / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://wmo.int/fr/media/magazine-article/climat-sante-en-afrique (дата обращения: 04.05.2026).
6. Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ). Глобальный отчет о эйджизме – 2021. –С. 124-137 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.who.int/publications/i/item/9789240016866 (дата обращения: 04.05.2026).
7. Информация ООН. ВОЗ призывает к трансформации ухода за пожилыми людьми во всем мире / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://news.un.org/fr/story/2024/10/1149366 (дата обращения: 03.05.2026).

УДК 551.582
37.23.19: Комплексные климатические описания

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНО–ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

Казьмина Альбина Ивановна
ФГАУ ВО «Академия строительства и архитектуры», доцент, научный руководитель кафедры «Геотехника и конструктивные элементы зданий»
e–mail: KathminaAlbina@yandex.ru

Климчук София Александровна
ФГАУ ВО «Академия строительства и архитектуры», студентка
e–mail: SofiKlimchuk@yandex.ru

В данной статье рассмотрены причины возникновения проблемы низкого уровня строительства в связи с пренебрежением природно–климатическими условиями той или иной местности.

Качество зданий и сооружений определяется комплексом факторов, среди которых выделяют природные, архитектурные и инженерные. Основная задача строительного процесса заключается в создании прочного, долговечного, эстетичного и комфортного объекта, гарантирующего безопасность жителей и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. При этом на итоговое качество постройки, влияют природно-климатические условия [3].

Архитекторы и проектировщики должны проводить анализ климатических данных для оценки условий района строительства и формирования типологических рекомендаций по проектированию зданий. В рамках архитектурно-строительного проектирования климатический анализ выполняется согласно принципу «от общего к частному». В первую очередь изучают фоновые параметры климата региона, во вторую очередь исследуют локальные характеристики конкретного участка [3].

При оценке фоновых условий используется два типа климатических характеристик [3]:

1.Комплексные – включают данные о климатическом районировании, тепловом фоне, радиационно-тепловом и тепловлажностном режимах, световом климате, а также о снегопереносе, пылепереносе и косых дождях;

2.Пофакторные (охватывают отдельные параметры) – солнечную радиацию, температуру воздуха, ветровые нагрузки, осадки и влажность.

При проектировании зданий и сооружений также учитываются атмосферные условия, так как они определяют температурный режим, уровень влажности и газовый состав воздуха в зоне застройки. Таким образом архитектурно–планировочные решения меняются ввиду климатической зоны (пустынная, тропическая, умеренная и т. д.) [3].

Выделим климатические параметры, которые в большей степени влияют на проектирование зданий и сооружений, таким образом можно выделить: показатели температур, влажности,

интенсивность и направление ветровых потоков, объём атмосферных осадков (жидких и твёрдых) и уровень солнечной радиации. Вышеперечисленные параметры воздействуют не только на конструктивные характеристики здания, но и на уровень жизни людей [3].

При проведении ряда исследований в решении градостроительных вопросов в южных районах России была выявлена проблема недостаточного учета климатических параметров районов строительства. Основной причиной возникновения данной проблемы является типологические требования в строительных нормах не учитывающих специфику отдельных территорий (городов, республик, районов). Ведь даже на территории одного города прослеживается существенная пространственная неоднородность биоклиматических и микроклиматических условий.

Из–за дефицита научно обоснованных данных о местных климатических особенностях утверждают типовые серии жилых домов, спроектированных на усреднённых условиях. Это приводит к распространению однотипной жилой застройки в регионах с различающимися климатическими характеристиками [1].

Еще Витрувий в своих трудах отмечал: «Некоторые насчитывают всего четыре ветра: Солан, или восточный, Австр, или южный, Фавоний, или западный, и Септентрион, или северный. Но более внимательные исследователи указали, что их восемь. Главным тут был Андроник Киррест, который, чтобы это доказать, даже поставил в Афинах восьмиугольную мраморную башню и высек на каждой стороне восьмигранника рельефные изображения отдельных ветров, обращенные в ту сторону, откуда каждый из них дует а сверху этой башни он сделал мраморный конус, поставив на него медного Тритона с вытянутой в его правой руке палочкой, и устроил так, что он вращался ветром и, всегда останавливаясь против него, указывал палочкой на изображение дующего ветра» (Рисунок 1) (2). Под восьмью ветрами подразумевается: юго-западный, юго-восточный, северо-западный, северо-восточный, северный, южный, западный восточный. Вышеизложенное говорит о многогранности климатических условий, которые отличаются друг от друга в зависимости от выбранной территории и должны учитываться при строительстве зданий и сооружений.



Рисунок 1 – Восьмиугольная мраморная башня Андроника Киррестa

На формирование микроклиматических условий оказывают воздействие приёмы градостроительной планировки, плотность застройки, а также уровень озеленения и благоустройства территории. Данные проектные решения также воздействуют на ветровой режим, от которого зависит нестабильность иных микроклиматических показателей на уровне отдельных городских районов [1].

Основополагающим показателем оптимизации микроклимата жилых помещений является правильное расположение зданий на участке с организацией эффективного проветривания и затенения. Это предопределяет принципы формообразования жилой застройки и её пространственную организацию.

Динамика наружных воздушных потоков и их скорость в непосредственной близости от здания устанавливается направлением преобладающих ветров и окружающей застройкой. Для беспрепятственного движения воздушных масс нужно учитывать необходимые разрывы между зданиями, исключая торможение воздуха.

Проанализировано влияние конфигурации зданий и типа застройки на эффективность их проветривания. По результатам экспериментальных исследований установлены следующие зависимости для длины ветровой тени:

1. Ленточная застройка (длинные здания любой этажности): длина ветровой тени = 7×Н (Н– высота здания).

2. Шахматный тип застройки (здания, у которых высота равна длине): длина ветровой тени = 2×H, или длина ветровой тени = 3×H (H– высота здания).

Эти данные позволяют прогнозировать зоны застоя воздуха и подстраивать планировочные решения для улучшения естественной вентиляции.

В ходе исследования было установлено, что свободная застройка, групповое размещение зданий вокруг озеленённого двора либо их шахматное расположение, позволяют обеспечить хорошие условия аэрации территории. Наряду с этим сплошная протяжённая застройка, а также размещение высоких зданий, препятствующих прохождению бриза к расположенным позади них более низким строениям, негативно влияют на уровень аэрации.

Также нельзя забывать и о влиянии силы ветра на проектную деятельность. Так можно выделить шкалу Бофорта, разработанная ирландским гидрографом, адмиралом Фрэнсисом Бофортом в 1805 году, которая позволяет визуально оценить силу ветра по его воздействию на наземные объекты и по волнению на море (Рисунок 2).

Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Средняя скорость ветра, м/с	Наблюдаемое действие ветра
0	Штиль	0—0,2	Безветрие. Дым поднимается отвесно или почти отвесно. Листья деревьев неподвижны.
1	Тихий	0,3—1,5	Дым легко отклоняется в сторону.
2	Лёгкий	1,6—3,3	Движение ветра ощущается лицом, шелестят листья.
3	Слабый	3,4—5,4	Листья и тонкие ветви деревьев всё время колышутся.
4	Умеренный	5,5—7,9	Ветер поднимает пыль, приводит в движение тонкие ветви деревьев.
5	Свежий	8,0—10,7	Качаются тонкие стволы деревьев, на воде появляются волны с гребешками.
6	Сильный	10,8—13,8	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода.
7	Крепкий	13,9—17,1	Качаются стволы деревьев, гнутся большие ветки.
8	Очень крепкий	17,2—20,7	Ветер ломает сучья деревьев и тонкие ветки, идти против ветра очень трудно.
9	Шторм	20,8—24,4	Небольшие разрушения. Волны на море покрываются пеной.
10	Сильный шторм	24,5—28,4	Значительные разрушения строений, ветер вырывает деревья с корнем.
11	Жестокий шторм	28,5—32,6	Большие разрушения.
12	Ураган	33 и более	Огромные разрушения, серьезно повреждены здания, строения и дома, деревья вырваны с корнями, растительность уничтожена.

Рисунок 2 – Шкала Бофарта

Помимо ветра, на качество жилой застройки также влияет солнечное излучение, что особенно актуально на территории в условиях жаркого климата.

Снизить воздействие прямой солнечной радиации позволяет ориентация зданий на участке по продольной оси в направлении с востока на запад. Такое расположение минимизирует попадание прямых солнечных лучей на протяжённые фасады здания. В регионах низких широт, где солнце находится высоко над горизонтом, хорошо работают горизонтальные затеняющие устройства для северной и южной стен. Эффективность данных конструкций снижается по мере отклонения продольной оси здания от параллели.

Нередко возникает противоречие между требованиями к аэрации территории и потребность защиты от солнечной радиации (например, в условиях преобладающего западного бриза). В подобных случаях ориентируются на направление ветра, для обеспечения комфорта проживания.

Для достижения хорошей естественной вентиляции помещения предусматривают оконные проёмы увеличенного размера, площадь которых составляет от 1/4 до 1/7 площади пола. Интенсивность воздухообмена зависит от взаимного расположения и ориентации проёмов. Максимальная скорость движения воздуха достигается при отсутствии объемов, вызывающих резкое изменение его направления. Таким образом прямое проветривание, предполагающее симметричное расположение проёмов друг напротив друга, положительно влияет на уровень проветриваемой помещений, в отличие от углового проветривания.

В архитектуре галерейных домов реализация однорядной планировки помещений в сочетании с устройством двусторонних протяжённых открытых веранд позволяет размещать открытые лестницы и подсобные помещения в торцах здания. Веранды выполняют роль коммуникационных пространств, являются солнцезащитными устройствами и интегрируются в жилое пространство, повышая уровень планировочного решения. Также галерейные дома допускают вариативность этажности, а конструкции галерей (открытые либо с перфорированными ограждениями по высоте этажа) создают естественную вентиляцию помещений.

В практике малоэтажного (преимущественно одноэтажного) жилищного строительства распространение получила блокированная застройка. При ориентации зданий по широте, данный тип застройки помогает сократить число наружных стен, ориентированных на восточную и западную стороны горизонта (повышенная подверженность воздействию солнечной радиации). Что улучшает микроклима внутренних помещений.

В условиях жаркого климата связь внутреннего пространства с внешней средой, является архитектурно–планировочным приемом для повышения комфорта (обеспечение естественной вентиляции, снижение тепловой нагрузки). В многоэтажных зданиях эту функцию выполняют открытые помещения и веранды. В малоэтажной застройке к ним добавляются внутренние дворики различных конфигураций, которые не только улучшают инсоляцию и сквозное проветривание помещений, но и создают микроклиматические зоны с благоприятными температурно–влажностными характеристиками.

Для создания комфортных жилых зданий в жарком климате недостаточно опираться на обобщенные региональные данные. Необходимо проводить детальный анализ природно–климатических условий на конкретном участке строительства, включая влажность, направление ветра, уровень солнечной радиации и другие параметры.

Список использованных источников

1. Гиясов, А. Методика микроклиматического и биоклиматического районирования территории городов / А. Гиясов // Жилищное строительство. – 2006. – № 6. – С. 18-20. – EDN KZIMXB.

2. Витрувий. Десять книг об архитектуре / пер. с лат. Ф. А. Петровского. – СПб.: Азбука. – 2023. – 320 с. – ISBN 978-5-389-13162-0.

3. Ливенцов, М. А. Климатические условия и их влияние на особенности проектирования зданий и сооружений / М. А. Ливенцов // Наука, образование и культура. – 2018. – № 6(30). – С. 20-22. – EDN UVEXEN.

УДК 69.032.4
67.29.03 Общая типология объектов строительства

АРХИТЕКТУРА ГЛЭМПИНГОВ ЗА ПОЛЯРНЫМ КРУГОМ: ИСКУССТВО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРЕДЕЛЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Карасова Ирина Юрьевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», поч. арх. России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»,
e-mail: irusya-irusya@mail.ru

Григорьева Анастасия Сергеевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
e-mail: anastasiagrigoreva0406max@gmail.com

Аннотация: В статье рассматриваются архитектурно-конструктивные особенности глэмпингов, расположенных за полярным кругом. На основе анализа реализованных объектов в России, Финляндии и Норвегии выявляются ключевые подходы к проектированию в условиях экстремальных климатических нагрузок. Особое внимание уделяется природно-климатическим факторам, определяющим архитектурную типологию, материалам и конструкциям, адаптированным к арктическим условиям, а также инженерным системам, обеспечивающим автономное функционирование объектов. Делается вывод о формировании самостоятельного направления арктической архитектуры, основанного на принципах минимального воздействия на хрупкую экосистему и максимальной энергоэффективности.

Ключевые слова: глэмпинг, арктическая архитектура, геодезический купол, вечная мерзлота, CLT-конструкции, автономное энергоснабжение, северное сияние, свайные фундаменты.

1. Природные и климатические особенности

Архитектура за полярным кругом формируется под определяющим воздействием комплекса природно-климатических факторов, предъявляющих особые требования к объемно-планировочным и

конструктивным решениям. Зона распространения многолетнемерзлых грунтов охватывает порядка 90% территории российской Арктики, что создает специфические вызовы для фундаментостроения. Согласно СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», при проектировании необходимо учитывать прогнозируемые изменения температурного режима, обусловленные как глобальным потеплением, так и техногенным воздействием.

Температурный режим характеризуется экстремальными значениями: в финской Лапландии зимние температуры достигают -50°C . В российских регионах, таких как Мурманская область и Якутия, фиксируются сопоставимые показатели. Ветровые нагрузки в прибрежных арктических зонах могут достигать критических значений, что требует особого подхода к выбору форм и материалов.

Снеговая нагрузка представляет собой отдельный инженерный вызов. На Кольском полуострове снежный сезон длится с декабря по май, а толщина снежного покрова может достигать нескольких метров. Это обусловливает необходимость использования аэродинамических форм, предотвращающих накопление снега, а также усиленных конструкций, способных выдерживать значительные статические нагрузки.

Особую роль играет световой режим. Полярная ночь, длящаяся в Мурманской области с декабря по январь, создает условия для наблюдения уникального природного феномена — северного сияния (Aurora Borealis). По данным наблюдений, в окрестностях Aurora Village это явление фиксируется в среднем каждую третью ночь в период с сентября по апрель. Полярный день, напротив, требует обеспечения качественной светоизоляции помещений.

2. Типология глэмпингов

Анализ реализованных объектов позволяет выделить три основные типологические группы арктических глэмпингов, различающиеся по конструктивному решению и функциональной организации.

Геодезические купола и иглу. Данная типология является наиболее распространенной в арктических условиях. Проект Aurora Village (Мурманская область, Россия) представляет собой комплекс из семи купольных домиков диаметром шесть метров и площадью 28 кв.м. Ключевой архитектурной особенностью является остекление, составляющее треть конструкции — прозрачная сфера из двойного стекла обеспечивает панорамный обзор при сохранении теплового контура . Внутреннее пространство организовано по принципу двухъярусного размещения: две кровати на первом этаже и две на верхнем ярусе, что позволяет размещать до пяти гостей.

Мировым пионером данной типологии является Kakslauttanen Arctic Resort (Финляндия), основанный в 1973 году Юсси Эйрамо. Первые стеклянные иглу были построены на территории курорта в 1999 году и сформировали новый стандарт арктического гостеприимства . Архитектурное решение основано на использовании стекла с низкоэмиссионным покрытием и системой электроподогрева, позволяющей сохранять прозрачность при температурах до -50°C.



Рисунок 1 - Стеклянные иглу в комплексе Kakslauttanen Arctic Resort, Финляндия.

Модульные кабины на сваях. Данная типология представлена проектом Manshausen 2.0 архитектурного бюро Snorre Stinessen Architecture (Норвегия). Четыре кабины расположены на оконечности скальных образований в северной части острова Мансхаузен в архипелаге Штайген, консольно нависая над морем . Архитектурное решение базируется на принципе минимального воздействия: модули предварительно изготовлены на заводе и собраны на месте без использования тяжелой техники. Для определения точного расположения каждой кабины изучались высота волн, экстремальные погодные условия и прогнозируемый подъем уровня моря.



Рисунок 2 - Модульные кабины на сваях Manshausen 2.0, Норвегия.

3. Материалы и конструкции

Выбор материалов для арктических глэмпингов диктуется комплексом требований: устойчивость к экстремальным температурам, коррозионная стойкость, минимальный вес для транспортировки, а также экологическая безопасность.

Остекление. Ключевым технологическим решением является использование стекла с электроподогревом. В проекте Kakslauttanen Arctic Resort применены стеклопакеты Pilkington K Glass™, нагреваемые с двух сторон: нижняя поверхность обеспечивает тепло внутри помещения, верхняя — расплавляет лед и снег на внешней поверхности . Это позволяет сохранять прозрачность стекла при экстремальных морозах, обеспечивая непрерывное наблюдение за северным сиянием. В Aurora Village используется двойное остекление — тройное было признано избыточно тяжелым для конструкций, монтируемых без применения кранов.

Обшивка и несущие конструкции. В проекте Manshausen 2.0 для внешней обшивки выбран алюминий, обладающий высокой устойчивостью к воздействию соленой воды и атмосферной коррозии . Внутренняя конструкция выполнена из CLT (cross-laminated timber) — склеенной перекрестно-слоеной древесины, сочетающей конструкционную прочность с относительно малым весом. Данный материал позволяет изготавливать модули на заводе и транспортировать их к месту установки, минимизируя строительные работы на площадке.

Свайные фундаменты. В условиях вечной мерзлоты ключевым конструктивным решением является использование свайных фундаментов с проветриваемым подпольем, предотвращающих передачу тепла от здания в грунт. В проектах на Ямале применяются винтовые сваи с антикоррозийным покрытием, заглубляемые ниже сезонного слоя оттаивания. Инженерные изыскания включают прогнозирование чаши оттаивания — зоны, в которой температурный режим грунта изменяется под воздействием здания, что требует заглубления свай на 15–20 метров в зависимости от геологических условий.

Термоизоляция. Многослойные ограждающие конструкции включают эффективные утеплители, сохраняющие свойства при низких температурах. В Aurora Village применены системы теплого пола и стационарного отопления, обеспечивающие поддержание комфортной температуры.

4. Инженерные системы и эксплуатационные особенности

Удаленность арктических глэмпингов от централизованных сетей требует автономных инженерных решений, обеспечивающих энергоснабжение, отопление, водоснабжение и водоотведение.

Энергоснабжение. В глэмпинге «Китовый берег» на побережье Баренцева моря (Мурманская область) реализована система автономного энергоснабжения, включающая ветрогенератор мощностью 1 кВт, солнечные панели мощностью 1,5 кВт и накопитель электроэнергии мощностью 6 кВт . Данное решение обеспечивает стабильное электроснабжение в месте, полностью лишенном доступа к электрическим сетям, и характеризуется экологической чистотой и бесшумностью. Срок окупаемости системы оценивается в 2,5 года.

Отопление. В Оймяконском районе Якутии, на Полюсе холода, в 2025 году стартовал пилотный проект по внедрению автономной системы газового отопления в модульных кемпинговых домиках. Установка включает газгольдер и газовый котел мощностью 16 кВт . Успешное испытание данной системы может стать моделью для развития туристической инфраструктуры в регионах с экстремально низкими температурами.

Водоснабжение и канализация. Объекты оснащаются системами привозной воды и биологической очистки сточных вод. В Aurora Village каждый иглу оборудован полноценным санузлом с горячей и холодной водой . В финских проектах используются локальные системы водоподготовки, адаптированные к арктическим условиям.

Эксплуатационные особенности. Строительство арктических глэмпингов имеет строгую сезонность. Работы начинаются только в июне, после окончательного схода снежного покрова. В Aurora Village, открытом в 2017 году, уже в первом сезоне все иглу были забронированы до конца зимы, что демонстрирует высокий спрос на данный формат размещения.

5. Туристическая привлекательность

Архитектурная концепция арктических глэмпингов непосредственно связана с их туристической привлекательностью, ключевым фактором которой является возможность наблюдения северного сияния в комфортных условиях.

Северное сияние как архитектурный фактор. В Aurora Village архитектурное решение подчинено задаче максимально комфортного наблюдения авроры. Ориентация иглу на север, отсутствие искусственного освещения вокруг и панорамное остекление создают оптимальные условия. Как отмечает генеральный директор компании «Визит Мурманск» Олег Теребенин, идея кемпинга состоит в том, чтобы у туристов была возможность наблюдать за северным сиянием, не выходя из уютного помещения . В период с сентября по апрель вероятность наблюдения сияния в окрестностях комплекса составляет примерно каждый третий вечер.

География туристического потока. Согласно данным, представленным в 2018 году, все иглу Aurora Village были забронированы до конца зимы, преимущественно туристами из Азии — Японии, Китая и других стран . Это свидетельствует о высоком международном спросе на арктический туризм и о важности архитектурного решения как фактора привлечения туристов.

Гастрономический туризм. Значимым элементом туристической привлекательности становится гастрономическая составляющая. В Aurora Village гостям предлагаются гастрономические ужины с блюдами северной кухни: стейк из форели в сливочно-устричном соусе, бифштекс из оленины с соусом из лесных грибов, оленина с брусничным луком . Стоимость ужина составляет 3000 рублей на одного гостя, завтрак может быть заказан в номер за 900 рублей.

Арктический досуг. Инфраструктура арктических глэмпингов включает элементы активного отдыха: открытые купели, прокат лыж, катание на снегоходах, бани и сауны. В проекте Manshausen 2.0 сауна построена с использованием остаточных материалов предыдущего этапа строительства и старых сланцевых кровельных плиток, найденных на острове, что подчеркивает принцип устойчивого развития .

Сезонность туристического спроса. Наибольший спрос на арктические глэмпинги приходится на зимний сезон, совпадающий с периодом полярной ночи и максимальной вероятностью наблюдения северного сияния. Летний сезон, характеризующийся полярным днем, привлекает туристов возможностями активного отдыха — трекинга, рыболовства, каякинга.



Рисунок 3 - Глэмпинг «Aurora Village», Мурманская область, Россия.

Список использованных источников

1. Аврора Вилладж Иглу - Aurora Village — URL: https://auroravillage.info/ru/hb_accommodation/igloo/
2. ГОСТ Р 71617— 2024. Национальный стандарт Российской Федерации. Модульные здания и конструкции. Термины и определения. Классификация (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 сентября 2024 г. № 1255-ст)
3. "ГОСТ Р 72311-2025. Национальный стандарт Российской Федерации. Туризм и сопутствующие услуги. Глэмпинги. Общие требования" (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 30.09.2025 N 1131-ст)
4. НА СЕВЕРЕ – ЖИТЬ! — центр гражданско-патриотического воспитания — Мурманская область — URL: https://naseverezhit.center/
5. Kakslauttanen Arctic Resort Review: Glass Igloos and Northern Lights — URL: https://www.findingtheuniverse.com/kakslauttanen-arctic-resort-finland-review/
6. Manshausen 2.0 Island Resort / Stinessen Arkitektur | ArchDaily — URL: https://www.archdaily.com/920773/manshausen-island-resort-stinessen-arkitektur.
7. Snow-глэмпинги России: где провести каникулы в необычном формате // Яндекс Путешествия. — 2025. — 6 декабря. — URL: https://travel.yandex.ru/journal/snowglempingi-rossii/

УДК 347.787
07.03.01: Архитектура и градостроительство

МУЗЕЙ-ЗАПОВЕДНИК С. В. РАХМАНИНОВА «ИВАНОВКА»: ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕСТАВРАЦИИ И СОХРАНЕНИИ УТРАЧЕННОГО

Карасова Ирина Юрьевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, член союза архитекторов РФ, доцент, научный руководитель кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: irusya-irusya@mail.ru

Петрова Е.В.,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студентка
e-mail: lisa22elizaveta@yandex.ru

«Ивановка» — усадьба в Тамбовской области, тесно связанная с жизнью и творчеством Сергея Васильевича Рахманинова. Это не просто «место памяти», а культурный ландшафт, где композитор проводил значительную часть летних сезонов, работал над произведениями, общался с близкими и находил ту атмосферу, которая во многом определяла его творческий ритм. Именно поэтому сохранение «Ивановки» воспринимается как сохранение материального контекста русской музыкальной культуры конца XIX — начала XX века. (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Музей-заповедник С. В. Рахманинова «Ивановка» н.в.

Ивановка была родовым имением родственников Рахманинова — Сатиных. С 1890 по 1917 год композитор проводил здесь каждую весну и лето. Это была его главная творческая лаборатория: здесь были созданы 80% произведений того периода, включая оперы «Алеко», «Скупой рыцарь», «Франческа да Римини», множество романсов, этюды-картины, Первую и Вторую симфонии. (Рисунок 2).



Рисунок 2 – План-схема музей-заповедника С. В. Рахманинова «Ивановка»

Изначально «Ивановка» была типичной дворянской усадьбой со сложившейся планировкой: жилой дом, хозяйственные постройки, парк, подъездные пути, пруды/водные, а также окружающие сельскохозяйственные земли. Для Рахманинова это было место семейных связей и устойчивого уклада: усадебная среда давала тишину, пространство и ощущение «дома», столь важные для композитора.

Однако судьба большинства усадеб в XX веке оказалась драматичной: смена социального строя, национализация, перепрофилирование зданий, утрата интерьеров и предметной среды, а затем — разрушения, связанные с войнами и общим упадком усадебной инфраструктуры. Для «Ивановки» ключевой проблемой стала именно утрата подлинных построек и интерьеров: к моменту начала музейного возрождения речь шла не о «сохранении в неизменном виде», а о восстановлении утраченного (Рисунок 3).

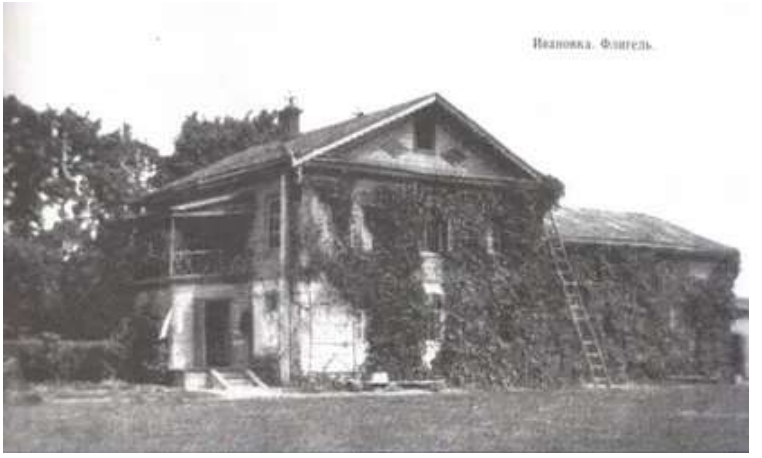


Рисунок 3 – С июня 1890 по апрель 1917 года С. В. Рахманинов каждый год жил и работал в этом имении.

После революции 1917 года усадьба была национализирована и разорена. В 1918 году Рахманинов навсегда покинул Россию. Главный господский дом сгорел в 1918 году. В последующие десятилетия были полностью утрачены все постройки (флигель, людская, беседки), вырублен парк, засыпан пруд. На месте усадьбы располагались поля и ферма совхоза.К 1922 году все строения Ивановки были уничтожены во время Революции и Гражданской войны. (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Сергей Васильевич Рахманинов с женой Натальей Александровной Сатиной

Создание музея-заповедника в «Ивановке» стало ответом на две задачи:

1. мемориальная — закрепить память о Рахманинове в подлинном географическом и культурном пространстве;

2. научно-реставрационная — вернуть усадьбе исторический облик настолько, насколько это возможно на основе источников.

На раннем этапе обычно формируется «доказательная база» восстановления: собираются архивные материалы, старые фотографии, планы, описания современников, воспоминания, документы о владении

и перестройках, проводится обследование территории и поиск следов фундаментов/планировочных осей. Для усадеб, утративших здания, это принципиально: без источников восстановление превращается в стилизацию.

Для «Ивановки» (как и для многих мемориальных усадеб) реставрационные работы включают в себя несколько направлений:

- *Архитектурное воссоздание* охватывает восстановление главного дома и ключевых построек по фотофиксации, обмерам, архивным сведениям, также воспроизведение объемно-планировочной структуры (расположение комнат, веранд, входов) и подбор материалов и технологий, близких историческим (насколько это возможно при современных требованиях безопасности).
- *Мемориальные интерьеры* помогают возвратить предметы, где это возможно, связанные с семьей/эпохой (оригиналы, аналоги, типологически верные предметы), создаются экспозиции, объясняющие, что является подлинником, а что — реконструкцией, а также, важен принцип научной честности: посетитель должен понимать степень аутентичности.
- *Ландшафт и «дух места».* Усадьба — это не только дом. Реставрация ландшафта содержит в себе: восстановление дорожек, парковых перспектив, посадок, видовых точек, водных объектов (если они исторически подтверждены) помогает вернуть восприятие пространства таким, каким оно могло быть во времена Рахманинова. Ландшафтная часть часто требует длительного времени: деревья и аллеи не «строятся» быстро, их выращивают и поддерживают десятилетиями.
- *Процесс возрождения Ивановки* — это несколько этапов, растянувшихся на десятилетия. Ключевое слово здесь — «воссоздание», так как реставрировать было нечего. Работа велась на основе: создания архивных документов (планы, описи, страховые оценки), следом, археологические раскопки (обнаружение фундаментов).Помимо этого, воссоздание учитывает иконографические материалы (единственная сохранившаяся фотография главного дома 1912 г., рисунки, акварели), а также, воспоминаний современников и родственников. Учитываются типологические аналогии (усадеб той эпохи в том регионе).

В 1968 году энтузиасты во главе с художником В. Козловым установили на месте усадьбы первый скромный памятный знак. Следом в 1971 году была создана инициативная группа. Проведены первые археологические раскопки в 1974-1978 год под руководством архитектора-реставратора В.М. Куликова. Были вскрыты фундаменты главного дома, флигеля, людской, определены их точные размеры и местоположение. (Рисунок 5).



Рисунок 5 – 5 октября 2017 года в музее-усадьбе С. В. Рахманинова «Ивановка» (Тамбовская область) открыли памятник Сергею Рахманинову

Самый интенсивный период физического восстановления был произведен в 1982 году. Воссоздан одноэтажный деревянный флигель (дом Сатиных), где сегодня находится основная мемориальная экспозиция. Он стал первым зданием музея. Следом в 1983 году музей принял первых посетителей.

К 1987 году воссозданы: людская (служебный корпус), беседка, пруд, начата реконструкция парка (высажены сотни лип, кленов, дубов, сирень). (Рисунок 6).



Рисунок 6 – Первые посетители восстановленного музея в 1983 году .

Главная задача — воссоздание господского дома. Проект разрабатывался на основе единственной фотографии и раскопанного фундамента. Это была сложнейшая архитектурно-историческая задача.

В 1995 году торжественно открыто воссозданное здание главного усадебного дома. Это событие стало символом полного возвращения Ивановки. Дом двухэтажный, деревянный, с мезонином, воссоздан в формах, характерных для русской усадебной архитектуры конца XIX века.

В 1995 году по настоящее время совершается восстановление хозяйственного комплекса: амбар, каретный сарай, водонапорная башня. Реставрация и наполнение интерьеров. Это особая статья. Поскольку подлинных вещей из Ивановки почти не сохранилось (единицы, переданные родственниками), музей ведет кропотливую работу по формированию типологической коллекции эпохи. Мебель, рояли (включая тот самый «Стейнвей», на котором играл Рахманинов в эмиграции, подаренный его внуком), предметы быта, ноты — все собиралось по крупицам, чтобы создать достоверную атмосферу (рисунок 7).



Рисунок 7 – Восстановленный интерьер в музее-усадьбе С. В. Рахманинова «Ивановка» .

Воссоздание природного ландшафта и садово-паркового ансамбля продолжается постоянно.
Особенности реставрационного подхода в Ивановке:

1. Научное воссоздание «в духе места»: Так как подлинник утрачен, реставраторы стремились не к абсолютной копии (невозможной без достаточных данных), а к созданию архитектурно-исторической и эмоционально-художественной модели усадьбы Рахманинова.
2. Ансамблевый принцип: Восстанавливался не просто дом, а целая среда — архитектурная, ландшафтная, звуковая. Это позволило вернуть genius loci (дух места).

3. Мемориализация через функцию: Ивановка — не мертвый памятник. Это живой культурный центр. Ежегодный Международный музыкальный фестиваль им. С.В. Рахманинова, концерты, научные конференции наполняют воссозданные стены той самой музыкой, ради которой все и затевалось. Это высшая цель реставрации — возрождение духовной жизни места.

Сохранность музей-заповедника зависит не только от качества реставрации, но и от постоянной эксплуатации и ухода.

Ключевые риски: климатические (влага, перепады температур, промерзание, ветровые нагрузки), биологические (грибок, насекомые, разрушение древесины), эксплуатационные (поток посетителей, износ полов и лестниц, требования пожарной безопасности), ландшафтные (старение деревьев, эрозия почв, зарастание исторических перспектив).

Типовые меры обеспечения сохранности сооружения требуют регулярный мониторинг состояния конструкций и микроклимата, профилактическую консервацию деревянных элементов, ограничение нагрузки на мемориальные помещения (маршрутизация потоков, защитные покрытия). Противопожарные и охранные системы, не нарушающие исторический облик и плановый уход за парком и восстановление посадок.

Для объектов, где значительная часть утрачена, важно корректно употреблять термины:

• реставрация — работа с сохранившейся исторической материей (укрепление, раскрытие, ремонт с сохранением подлинного);

• воссоздание/реконструкция — восстановление утраченного по источникам.

«Ивановка» ценна тем, что стремится не просто «построить красивую усадьбу», а восстановить мемориальное пространство, опираясь на документы и исследования. В музейной практике это выражается в научных публикациях, архивной работе, консультациях специалистов и прозрачности экспозиционных решений. Сохранность памятника усиливается, когда он не превращается в «мертвую декорацию». (Рисунок 8).



Рисунок 8 – 5 октября 2017 году установлен памятник Сергею Рахманинову

Музей-заповедник, связанный с композитором, естественно развивается как площадка для концертов и фестивалей, научных конференций и лекций, образовательных программ и выставок, посвященных Рахманинову и эпохе.

История «Ивановки» — пример того, как утраченный усадебный мир может быть возвращен в культурную память через научно обоснованное воссоздание, постоянный уход и музейную работу. Реставрация здесь — не разовая акция, а длительный процесс поддержания архитектуры, ландшафта и мемориального содержания. Сохранность определяется балансом между аутентичностью, научной достоверностью и современными требованиями безопасности и эксплуатации — именно этот баланс делает музей-заповедник устойчивым и значимым.

Реставрация (воссоздание) Ивановки — это выдающийся проект культурной репарации. Он исправляет историческую несправедливость уничтожения, возвращая на карту России одно из самых важных для мировой культуры мест. Это памятник не только Рахманинову, но и силе человеческой памяти, научной добросовестности и общественной инициативы.

Список использованных источников

1. АКТ государственной историко-культурной экспертизы научно-проектной документации «Проект требований к осуществлению деятельности и градостроительным регламентам в границах территории объекта культурного наследия регионального значения «Достопримечательное место, связанное с жизнью и творчеством С.В. Рахманинова в имении дворян Сатиных» (Тамбовская область, Уваровский район, Березовский сельский совет)» https://pam.tmbreg.ru/assets/files/Ekspertiza/2022/10/24/Акт%20ГИКЭ%20ДМ%20Ивановка.pdf
2. Информация об истории развития Тамбовского областного учреждения культуры «Музей-заповедник С.В. Рахманинова «Ивановка» http://artmetod.tmb.muzkult.ru/media/2023/03/02/1290779368/Informaciya_ob_istorii_razvitiya_Ivanovki.pdf
3. Кузнецова, Н.В. Организация деятельности по охране объектов культурного наследия (web-формат) [Электронный ресурс. Мультимедиа]. Учебное пособие. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "ТГТУ", 2021.
4. Кузнецова, Н.В., Путинцева, А.А. Исследование архитектурно-исторического наследия города Тамбова (web-формат) [Электронный ресурс. Мультимедиа]. Учебное пособие. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "ТГТУ", 2023.
5. Музей-заповедник • С.В. Рахманинов • Фотоматериалы • Создание дома-музея • Визуализация • Реконструкция .https://heritage.tstu.ru/memorial/index.php/ru/sozdanie-doma-muzeya
6. Музей-усадьба Рахманинова «Ивановка» история, дополнительная информация. https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/tambov/museum/29096
7. Официальный сайт Музей-заповедник С. В. Рахманинова https://ivanovka-museum.ru/
8. Попытка осмысления концепта «возрождение» как модели исторической динамики бытия культуры и естественного механизма культурного изменения Шемякина Мария Константиновна. http://www.publishing-vak.ru/file/archive-culture-2012-4/1-schemyakina.pdf
9. Рахманиновские места в тамбовской области: перспективы историкокультурной реконструкции. file:///C:/Users/ADMINISTRATOR/Downloads/mns20190705.pdf
10. Список объектов культурного наследия федерального значения, расположенных на территории Тамбовской области https://pam.tmbreg.ru/gosudarstvennyj-uchet-okn/obekty-kulturnogo-naslediya/spisok-obektov-kulturnogo-naslediya-federalnogo-znacheniya-raspolozhennyh-na-territorii-tambovskoj-oblasti/
11. Современные проблемы реконструкции музеев в исторической городской среде Алексей Серафимович Щенков. https://docviewer.yandex.ru/view/2237539323/source?url=https%3A%2F%2Fmarhi.ru%2FAMIT%2F2023%2F4kvart23%2FPDF%2F08_shchenkov.pdf&ts=19b18d2ba58&token=qrd%2FNY%2B0XyocmqVByce3Rg%3D%3D&name=08_shchenkov.pdf&dsid=babc6e9fb9b1f8b1966eac0a17d1c1af

УДК 332.3
39.19.21: Управление земельными ресурсами

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В РЕГИОНЕ В КОНТЕКСТЕ БЕРЕЖЛИВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Крахина Валентина Анатольевна,
ДОННАСА – ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», доцент кафедры «Экономики, экспертизы и управления недвижимостью»
e-maill: v.a.krakhina@donnasa.ru

Росторгуев Никита Тимофеевич,
ДОННАСА – ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», аспирант
e-maill: n.t.rostorguev@donnasa.ru

Постановка проблемы. Современные практики управления земельными ресурсами диктуют новые приоритеты эффективности в контексте бережливого управления. Происходит ориентация на условия и требования актуальных правовых основ земельной собственности, отраслевых экономических и пространственно-территориальных показателей. Вследствие данных процессов

формируются новые теоретические предпосылки управленческих воздействий, направленные на современную и результативную земельную политику.

Актуальность темы исследования. Управление земельными ресурсами имеет первостепенное значение для понимания современных вызовов и стратегий решения, стоящих перед глобальным обществом. Земельные ресурсы являются основой для существования человечества, обеспечивая продовольствие, сырье для промышленности и основу для жилищного строительства. К тому же внедрение принципов бережливого управления земельными ресурсами приводит к росту инвестиций в исходную территорию, способствует увеличению налогов и обеспечивает надежную гарантийную систему участникам земельных отношений.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ теоретических, методологических и методических вопросов управления земельными ресурсами проводился в трудах многих отечественных и зарубежных ученых, таких как: Н.И. Бухтояров, А.А. Бортникова, А.А. Дубовицкий, К.А. Кирсанов, М.В. Масловская, Е.В. Смерницкая, М.О. Шер и других.

Выделение незавершенных проблем. Однако имеющегося достаточно объемного материала исследований в настоящее время недостаточно, поскольку на первый план выходит концепция бережливого управления, позволяющая наиболее рационально и эффективно использовать имеющиеся ресурсы в условиях их ограниченности.

Цель исследования. Целью исследования выступает формирование современных принципов управления земельными ресурсами в регионе, исходя из его особенностей и возможностей в контексте бережливого управления.

Результаты исследования. В последние десятилетия мир столкнулся с насущными проблемами, связанными с управлением земельными ресурсами: нарастающее давление на земельные ресурсы из-за увеличения мирового населения, урбанизации и изменения климата, что требует разработки новых подходов к землепользованию, которые направлены на обеспечение их устойчивого использования; деградация земель и утрата плодородия, приводящие к сокращению продовольственной безопасности и прямой угрозе социально-экономическому развитию стран; необходимость комплексного решения проблем, связанных с земельными ресурсами, что требует комплексного подхода, учитывающего экологические, экономические и социальные аспекты. Поскольку земельные ресурсы выступают основой для устойчивого развития территорий, то решение указанных проблем является важной задачей современности, требующей эффективного решения.

Управление земельными ресурсами представляют собой процесс планирования, использования, охраны и улучшения земель с целью повышения их производительности и обеспечения долгосрочной устойчивости экосистем. При этом затрагиваются все виды земель – для сельского хозяйства, жилищного строительства, транспортной инфраструктуры, природные ландшафты и экосистемы. Управление земельными ресурсами является процессом, который в тесной взаимосвязи направлен на рациональное использование земельного потенциала. В основе управления стоят законодательные и исполнительные органы власти, регулирующие и определяющие общую стратегию землепользования, планирования, распределения, перераспределения и охраны земель.

С позиции Смерницкой Е.В., наиболее действенное управление земельными отношениями возможно на основе объединения административно-государственных и экономических методов регулирования, разработки четкой политики управления земельными ресурсами, соединения интересов государственной и коммунальной форм собственности [1].

Обеспечение решения указанных проблем возможно на основе реализации концепции бережливого управления земельными ресурсами, которая направлена на поиск эффективных решений для устойчивого землепользования, разработку стратегий адаптации к изменению климата, сохранение биоразнообразия и плодородия почв, а также предотвращение конфликтов за земельные ресурсы. Ключевая задача бережливого управления – обеспечение сбалансированного потребления, воспроизводства всех видов земельных ресурсов и наиболее эффективного использования.

Необходимо отметить своеобразность категории земельные ресурсы, поскольку при выборе модели управления ими целесообразно принимать во внимание их природные свойства, географическое положение, систему производительных сил общества [2]. На основании таких характеристик выделяются группы – рисунок 1. Видим, что наибольшую долю в структуре земельных ресурсов ДНР занимают земли районов и только 29% - земли городов. Поэтому подходы к эффективному управлению земельными ресурсами целесообразно формировать, в первую очередь, исходя из назначения земельного фонда.



Рисунок 1 – Структура земель Донецкой Народной Республики

Основной вектор управления земельными ресурсами зависит от имеющихся территориальных проблем и особенностей. В Донецкой Народной Республике к ним можно отнести:

- отсутствие окончательно сформированных процессов экономико-правовых отношений собственности, что приводит к непониманию механизма и конфликту интересов местных жителей, государственных органов, застройщиков, фермеров;
- несовершенство системы государственного управления в отношении земельного законодательства, использования и охраны земель;
- нехватка информации и мониторинга данных о состоянии и использовании земель;
- невозможность использования БПЛА в связи с запретом на полеты;
- отсутствие рабочего механизма экономического стимулирования использования и охраны земель.

Традиционные системы управления земельными ресурсами характеризуются высокой ресурсоемкостью, инертностью и значительными затратами. Поэтому в работе выявлены ключевые потери, свойственные для традиционных систем управления земельными ресурсами:

- Перепроизводство: Избыточное количество земельных участков без реального спроса.
- Ожидание: Длительные процедуры согласований, межведомственного взаимодействия.
- Лишняя транспортировка: Многократное физическое перемещение документов между инстанциями.
- Лишняя обработка: Дублирование функций, избыточные отчетности.
- Излишние запасы: Нерациональное фондирование невостребованных земель, кадастровые ошибки.
- Излишние перемещения: Неэргономичные маршруты получения услуг для заявителей.
- Дефекты: Юридические конфликты, ошибки в кадастре, приводящие к рекламациям и судебным искам.

Эффективность системы управления земельными ресурсами – проведение определенного объема и вида управленческих действий (в т. ч. земельно-кадастровых) для повышения качества и степени использования земельных и информационных ресурсов. А под эффектом системы управления земельными ресурсами необходимо понимать конечный результат управленческих действий, выраженный в абсолютных и относительных показателях [3]. Таким образом, в основу концепции бережливого управления земельными ресурсами могут быть положены элементы, приведенные на рис. 2.

На основании проведенного исследования, выделим ключевые направления стратегии управления земельными ресурсами в Донецкой Народной Республике:

- планирование использования земель – ориентировано на разработку генеральных планов развития территорий; определение зон для сельского хозяйства, промышленности, жилищного строительства; создание схем землевладения, которые помогают упорядочить использование земель;
- зонирование – выделение территорий для различных видов деятельности с учетом экологических, экономических и социальных характеристик. Обеспечивает: создание охраняемых природных территорий, разделение жилых и производственных зон для минимизации рисков, определение сельскохозяйственных и промышленных зон;
- интеграция сельского и городского планирования – создание городских агроэкосистем, развитие «зеленых» городов;

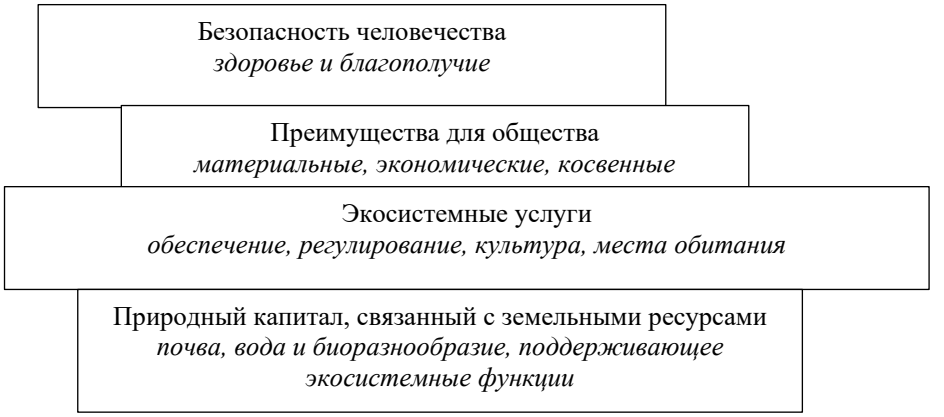


Рисунок 2 – Ключевые точки управления земельными ресурсами территории с позиции бережливого подхода

- восстановление деградированных земель – восстановление экосистем, озеленение и лесовосстановление, восстановление почвы;
- соблюдение принципов экологичности сельского хозяйства;
- повышение квалификационного уровня работников сферы управления земельными ресурсами.

В качестве принципов управления земельными ресурсами с позиции бережливого управления целесообразно использовать такие – рис. 3.

Перераспределение земель от неэффективных собственников к эффективным
Приоритетность жизненно важных условий жизнедеятельности и обеспечения продовольственной безопасности общества
Эффективное и рациональное использование продуктивных земель
Использование земель в соответствии с их целевым назначением
Равенство всех хозяйствующих субъектов в праве собственности на землю
Учет территориальной специфики землепользования
Главенство прав и обязанностей владельцев и пользователей земель
Нерушимость прав на землю, стабильности владения и пользования земельными участками
Комплексная ответственность за соблюдение норм и правил землепользования
Возмездность землепользования
Поддержание многоукладности аграрной экономики и оптимального сочетания крупных, средних и малых форм ведения сельского хозяйства
Обеспечение законности сделок с землей и гарантий их открытости
Рациональное сочетание административных и экономических методов управления земельными отношениями
Балансировка интересов всех субъектов земельных отношений
Открытость информации о количественных и качественных характеристиках земельных участков и их правовом статусе
Обеспечение экологической безопасности хозяйственного использования земель
Дифференцированный подход к управлению земельными ресурсами в зависимости от категорий земель и условий их использования

Рисунок 3 – Принципы управления земельными ресурсами с позиции бережливого управления

С целью возможности эффективной реализации вышеуказанных принципов, целесообразна реализация комплекса мероприятий направленных на управление земельными ресурсами, целью которого является повышение качества и управления и формирование условий, благоприятных для реализации интересов всех участников земельных отношений. Мероприятия по управлению земельными ресурсами заключаются в следующем: 1) совершенствование существующей системы управления земельными ресурсами с целью уменьшения неэффективного и нецелевого использования земель и создания условий, благоприятных для согласования интересов участников; 2) формирование системы информационного обеспечения – землеустройства, устранение пробелов в сфере характеристик и учета земельных участков; 3) обеспечение государственной защиты прав мелких землевладельцев и формирование благоприятной конкурентной среды; 4) организация и совершенствования государственного контроля за качеством земель, с целью формирования их правильной кадастровой оценки, оценки воспроизводственных возможностей земельных участков и контроля за их целевым и наиболее эффективным использованием; 5) сокращение объемов неиспользуемых земель территории.

Данные мероприятия обеспечат успешную реализацию концепции бережливого управления, в таких этапах:

- определение ценности: ценность создается не фактом учета земли, а ее вовлечением в хозяйственный оборот, ростом инвестиционной привлекательности территории, удовлетворенностью граждан качеством услуг.

- сквозной учет: создание единого цифрового профиля земельного участка на основе ГИС и Блокчейн, агрегирующего все данные (кадастр, право, экология, инфраструктура).

- анализ и изучение – применение инструментов (канбан: визуализация потоков создания стоимости для земельных проектов; 5S: систематизация данных и документооборота («Сортировка -> Соблюдение порядка -> Содержание в чистоте -> Стандартизация -> Совершенствование»); кайдзен: непрерывные улучшения процессов на основе обратной связи);

- единое окно и процессинг: консолидация всех услуг по принципу «одного окна» и сквозных межведомственных процессов.

- формирование экосистемы: вовлечение граждан и бизнеса в соуправление через краудсорсинговые платформы выявления проблем и предложений.

Выводы. Таким образом, система управления земельными ресурсами территории с позиции бережливого управления представляет собой взаимодействие общественных организаций, которые устанавливают порядок формирования и регулирования отношений между участниками земельных отношений. Для успешного протекания вышеуказанного процесса необходима четкая информационная база земельного кадастра, налаженный механизм реализации инновационно-инвестиционного участия, планирование, реализация и контроль производственной, инвестиционной и бюджетной эффективности использования земельного фонда. Трансформация системы управления земельными ресурсами региона на принципах бережливости является не технологическим обновлением, а сменой управленческой философии. Внедрение предложенных этапов концепции энергосбережения позволяет перейти от затратной, реактивной модели к проактивной, ценностно-ориентированной и ресурсосберегающей.

Список использованных источников

1. Смерницкая Е.В. Оптимизация механизма стратегического управления земельными ресурсами в регионе / Е.В. Смерницкая // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2022. Т. 8 (74). № 1. С. 142–148.

2. Астахова И.А. Принципы управления земельными ресурсами в рамках реализации концепции регионального устойчивого развития // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2009. №119. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/printsipy-upravleniya-zemelnymi-resursami-v-ramkah-realizatsii-kontseptsii-regionalnogo-ustoychivogo-razvitiya (дата обращения: 19.04.2026).

3. Рязанцев И. И., Белик М. Н. Повышение эффективности управления земельными ресурсами // Исследование проблем экономики и финансов. 2024. № 2. Ст. 7. https://doi.org/10.31279/2782-6414-2024-2-7.

УДК 725
67.07.11 Национальные особенности архитектуры

ИСТОРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ЙЕМЕНЕ

Кузнецова Наталия Владимировна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент, канд. тех. наук, научный руководитель кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: nata-kus@mail.ru

Т.А. Аль Едреси,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: taledresi@mail.ru

Арабский дом в восточных семьях играет ключевую роль в формировании личностной идентичности, оказывая свое влияние на структуру семейных взаимоотношений и культурные ценности и вплоть до начала XX века, и отражает сильно укоренившиеся традиционные модели социальной организации и межличностных связей. Архитектурный стиль формировался на основе географических, климатических и социального устройства и факторов особенностей местности. В течении многих веков формировался свой уникальный стиль и устройство комфортабельного жилища, которые варьируются в зависимости от расположения домов на прибрежной или горной территории. Истоки «Манхеттена пустыни» города крепости Сана (Sanaa) столица страны Йемена идут с древнейших времен своеобразную машину времени можно и сейчас увидеть, посетив города Йемена пройдя через ворота

крепости, которые фактически не изменились. Несмотря на то что столицей является город Сана, все правительственные учреждения находятся в городе Адене. Город основан 2,5 тыс. лет назад в долине гор на высоте 2,2 тыс. метров над уровнем моря в качестве йеменского форпоста. Форпост – торговый пост, место, где проходил обмен товарами. Однако к I веку нашей эры город превратился в процветающий торговый центр страны. Согласно историческим справкам в период абиссинского владычества (525-575 гг.) на территории королевств преобладало христианство, но спустя столетие распространилась исламская вера, начало которого считается с VII, все архитектурные памятники, храмы доисламского периода были уничтожены.

Традиционный дом-жилище того времени, характеризующее преобладающую городскую застройку, представляет собой своеобразную крепость, он формировался на протяжении столетий в первую очередь как защитное сооружение от набегов и межплеменных войн. Наиболее характерные исторические постройки «башни Санна» можно увидеть на панораме города (рисунок 1).

В статье «Основные типы традиционных жилых домов в республике Йемен» авторы которой Ерофеев А.В., Аллан Х.М., Михайлов В.А. предлагают следующую классификацию сооружений городов Йемена:

– Жилище временного типа – сторожевые башни расположены на полях землевладельцев и башни совместного общинного пользования.

– Жилые башни, хорошо укрепленные – сооружения, вобравшие полезные качества оборонительных башен и

одновременно используемые для проживания.

– Массовое строительство жилищ башенного типа, получило большое распространение в городах и сельских районах Йемена.

– Особняки богатых людей, дворцовые постройки и загородные резиденции. [4].

После тщательного анализа архитектурного стиля города Санна можно выделить следующие характерные архитектурные и конструктивные особенности восточного дома.

–Закрытые внутренние дворы. Внутренний двор с садом является своеобразным микроклиматическим и социальным центром дома. Устройство фонтана обеспечивает защиту от перегрева (система сбора и хранения воды), что особенно важно в условиях засушливого климата.

–Традиционные декоративные орнаменты на стенах дома (фасадах и крышах), которые выполняют эстетические и религиозные функции (рис. 2).

–Использование натуральных материалов. Преобладание глины, камня и соломы при строительстве домов. Эти материалы обеспечивают отличную теплоизоляцию, долговечность и экологичность в условиях чрезвычайно жаркого климата.



Рисунок 1 – Вид города Санна, (столица Йемена)



Рисунок 2 – Традиционные декоративные элементы в украшении йеменских домов

Можно выделить следующие причины строительства узких и высоких домов-башен:

- Одной из главных причин строительства узких домов-башен в Йемене была необходимость защиты от частых набегов бедуинов. Плотная застройка, при которой здания примыкали друг к другу, создавала своеобразную "крепостную стену", обеспечивавшую защиту горожан.

- Климатические условия страны также сыграли значительную роль. В условиях экстремальной жары маленькие и тесные лачуги не обеспечивали комфортного проживания. Поэтому жители стремились создать более привлекательные условия, проектируя просторные и изолированные комнаты, которые способствовали улучшению микроклимата жилища.

Эти факторы способствовали четкому зонированию жилого пространства. Каждому члену семьи была отведена отдельная комната, по одной на каждом этаже. Это обеспечило автономию и комфортное проживание нескольких поколений, которые традиционно сосуществовали в одном доме. По мере роста семьи и увеличения числа поколений строительство продолжалось в вертикальном направлении, что объясняет значительную высоту башен. Средняя высота домов-башен достигает около 22 метров, в то время как некоторые дома достигают 30 метров.

Для сравнения можно упомянуть первый в мире небоскреб, построенный в Чикаго в 1885 году (США), высота которого составляет 42 метра. Разница в высоте между традиционными йеменскими домами и этим небоскребом составляет 12 метров, что подчеркивает технологическую и функциональную значимость этих исторических зданий.

Таким образом, в статье были рассмотрены и проанализированы основные элементы исторической структуры домов в Йемене. А также процессы развития и организации домов-башен, причины, по которым строительство происходило по такому сценарию. Каковы особенности климата, географического положения и социальной структуры, которые способствовали формированию традиционных построек в стране? Уникальность художественного облика этих зданий определяется комплексом исторических, архитектурных и дизайнерских особенностей, которые помогают сохранить традиционные ценности и культурное наследие Йемена.

Список использованных источников

1. Алсу А.С.М. Туризм в Йеменской Республике: перспективы развития инфраструктуры // Инженерное дело: Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ "Наука - образованию, производству и экономике" 01-02 декабря 2022 г. Минск: БНТУ. 2022. С. 24-27.

2. Кулинич Н.А. Многофункциональная архитектура в контексте сельских общественных пространств // Архитектура и современные информационные технологии. 2018. № 1(42). С. 150-162.

3. Гельфанд А.Л. Общественное здание и общественное пространство. Дуализм отношений // Academia. Архитектура и строительство. 2015. №2. С. 18-31.

4. Ерофеев А.В. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности //Основные типы традиционных жилых домов в республике Йемен / Современное строительство и архитектура ▪ № 3 (07) ▪ Август

УДК 725
67.07.11 «Национальные особенности архитектуры»

ТУРИСТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕСПУБЛИКИ ЙЕМЕН

Кузнецова Наталия Владимировна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент, канд. тех. наук, доценткафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: nata-kus@mail.ru

Т.А. Аль Едреси,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: taledresi@mail.ru

Туризм играет жизненно важную роль в развитии многих стран. Для определенного ряда стран доход от туристического потока стал основным источником, стимулирующим их экономический рост. В связи с этим предпринимаются усилия решить существующие проблемы в сфере туризма, оптимизировать процессы, удовлетворить потребности большего числа туристов, повысить туристическую привлекательность, повысить эффективность работы государственных и сервисных учреждений по обслуживанию туристов. Многие страны успешно стимулируют свою экономику за счет туризма, который обеспечивает дополнительный доход для государственного и частного секторов туристического бизнеса, при этом создает многочисленные рабочие места.

Вопросы организации туризма остро стоят в Йемене. Йемен – арабское государство на Ближнем Востоке официально носит название – Йеменская Республика, расположено на юге Аравийского полуострова, от Африки оно отделено проливом Бабэль-Мандеб. Оно омывается Красным и Аравийскими морями (рис. 1). Город Сана основан 2,5 тыс. лет назад в долине гор на высоте 2,2 тыс. метров над уровнем моря в качестве йеменского фопоста. Основная религия ислам. Географические и климатические факторы делают страну привлекательной для туризма. Климат республики – тропический, засушливый. Страна богата живописными природными видами и архитектурными памятниками. Сана формировался на протяжении столетий, в первую очередь, как защитное сооружение от набегов и межплеменных войн, имеет историческую застройку в виде традиционных домов-жилищ, представляет собой своеобразную крепость. Наиболее характерные исторические постройки «башни Санна» можно увидеть на панораме города – столицы республики. В административном делении Йемен делится на 22 мухафазы, они подразделены на 333 района.



Рисунок 1 – Географическое расположение и административное деление Республики Йемен

Лучшее время для туристической поездки в Йемен – сентябрь-октябрь и апрель-май, хотя отдыхать можно круглый год (рис. 2). Пятница и мусульманские праздники – официальные выходные, а в будние дни банки и другие учреждения открыты лишь в первой половине дня. Официальная валюта республики йеменский риал (YER). Государственный язык – арабский. В Йемене распространены традиционные арабские традиции. Единственное национальное отличие от других арабских стран – наличие большого количества рыбы в рационе и блюд из морепродуктов. Классические национальные блюда – шурпа, жирный суп с огромным количеством специй.

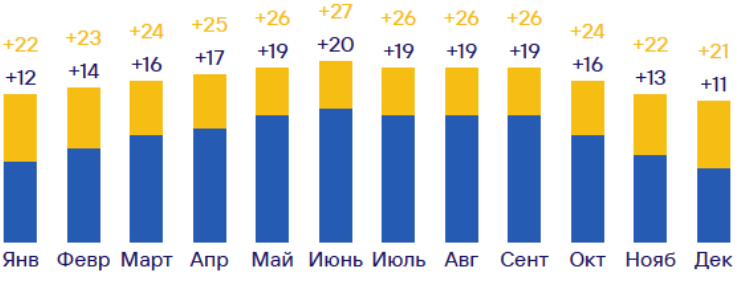


Рисунок 2 – График дневной и ночной температур в г. Сана за годовой период

Посмотреть и насладится уникальной природой Республики Йемен можно, отправившись на почти изолированный остров Сокотра, который славится «инопланетной» флорой. Он привлекает эко-туристов своим биоразнообразием, около трети растений острова не встречается больше нигде в мире. Драконовы деревья, кристально чистые лагуны и белые песчаные дюны, нетронутая природа. Посетить стоит и город Шибам известный «Манхэттен пустыни». Город Шибам в провинции Хадрамаут – это яркий пример вертикально градостроительства. Глиняные небоскребы высотой 5-11 этажей из необожжённого кирпича (саман), практически все дома включены в список ЮНЕСКО.

В статье [1] предлагается следующая классификация исторических сооружений городов республики Йемен:

– жилище временного типа – сторожевые башни, расположены на полях землевладельцев и башни совместного общинного пользования;

– жилые башни, хорошо укрепленные – сооружения, вобравшие полезные качества оборонительных башен и одновременно используемые для проживания;

– массовые жилища башенного типа, получившие большое распространение в городах и сельских районах Йемена;

– особняки богатых людей, дворцовые постройки и загородные резиденции.

Туристическая индустрия в Йемене на сегодняшний момент находится в первоначальной стадии, несмотря на то, что богатое историческое и культурное наследие привлекало путешественников с древних времен [2]. В советское время страна была закрыта для туристов по причине политической нестабильности и конфликтов, что ограничило развитие туристического сектора республики. С началом XX века начался постепенный приток туристов из-за развития туризма в Адене и прибрежных регионах. Следующее столетие привлекло международных путешественников благодаря архитектурным достопримечательностям, однако политические конфликты и гражданская война с 2014 года между повстанцами-хуситами и коалицией, возглавляемой Саудовской Аравией, резко ограничило рост туризма. Многолетняя война в Йемене привела к большим человеческим потерям и гуманитарной катастрофе. По настоящее время туристический сектор в республике Йемен остается слабо развит из-за продолжающихся конфликтов, проблем с инфраструктурой и безопасности туристов.



Рисунок 3 – Флора острова Сокотра



Рисунок 4 – Основные достопримечательности республики Йемен

Основные составляющие туристической инфраструктуры можно разделить на:

– транспорт. Внутреннее дорожное сообщение представляют асфальтированные дороги, местами требующие ремонта. Есть международные аэропорты в Сане, Адене, Мирабе и Аль-Худже, при этом все авиасообщения нестабильны из-за политической обстановке в стране.

– проживание и сервис. В туристических районах есть отели невысокого уровня с малым количеством мест для размещения туристов. В исторических и сельских местах проживание ограничено небольшими гостевыми домами [3, 4].

– объекты культурного наследия. Многие памятники, крепости, мечети и старинные города уникальны, но некоторые требуют реставрации.

– безопасность. Хотя внутренние вооруженные конфликты мешают дальнейшему развитию инфраструктуры, безопасность туристических мест обеспечена в достаточной мере [5].

Таким образом, развитие туризма в республике Йемен нуждается в больших инвестициях, стабилизации политической и гражданской ситуации, создании привлекательной туристической инфраструктуры обеспечивающей комфортное пребывание в стране. Восстановление и дальнейшее развитие транспортной инфраструктуры, гостиничного комплекса – важнейшие направления для потенциальных инвестиций в развитие туристического потенциала.

Список использованных источников

1. Ерофеев А. В., Аллан Х. М., Михайлов В. А. Основные типы традиционных жилых домов в Республике Йемен // Современное строительство и архитектура. 2017. №3 (07). С. 5-8.
2. Алсу А.С.М. Туризм в Йеменской Республике: перспективы развития инфраструктуры // Инженерное дело: Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ "Наука - образованию, производству и экономике" 01-02 декабря 2022 г. Минск: БНТУ. 2022. С. 24-27.
3. Кулинич Н.А. Многофункциональная архитектура в контексте сельских общественных пространств // Архитектура и современные информационные технологии. 2018. № 1(42). С. 150-162.
4. Гельфанд А.Л. Общественное здание и общественное пространство. Дуализм отношений // Academia. Архитектура и строительство. 2015. №2. С. 18-31.
5. Алсих А. С. М. Туризм в Йеменской Республике: перспективы развития инфраструктуры Инженерный бизнес Сборник материалов III Международной научно-практической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука - образованию, производству и экономике», Минск, 01–02 декабря 2022 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 24-27.

УДК 72.008
67.07.29 Памятники архитектуры. Мемориальные комплексы

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ «АНСАМБЛЬ УСАДЬБЫ ЛАВРОВО С КОНЕЗАВОДОМ»

Кузнецова Наталия Владимировна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: nata-kus@mail.ru

Кривова Анастасия Сергеевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: Anastasiiakrivova@inbox.ru

Краткие сведения о памятнике. Конезавод в селе Лаврово (объект культурного наследия регионального значения «Здания конезавода», расположенный по адресу: Тамбовская область, Мордовский муниципальный округ, село Лаврово, улица Центральная на основании Приказа Департамента по государственной охране объектов культурного наследия Тамбовской области от 11 декабря 2024 года N 446) был создан Василием Петровичем Воейковым в 1814 г. В конце 1840-х годов на конезаводе в Лавровке было 711 лошадей рысистой и верховой пород. Лошади покупались на заводе Орлова. В свою очередь, рысаки Лавровского конезавода покупались коннозаводчиками Тамбовского уезда – Елагиным, Коноплевым, Челищевым, Масловым. До конца 1860-х годов владельцем указан В.П. Воейков [1].

Главный дом объекта культурного наследия «Здания конезавода» был построен в начале XX века. Памятник построен в стиле эклектики с элементами классицизма и модерна. Архитектор неизвестен. С середины XVIII века, по мере развития села и конного завода менялась и застройка улиц села. После Великой Отечественной войны, в непосредственной близости от усадьбы, на самой территории усадьбы и парка, были сооружены одноэтажные жилые дома. Но, несмотря на это памятник по-прежнему выделяется своими размерами и оригинальным архитектурным решением среди окружающей застройки. Объект культурного наследия сохранил ряд ценных элементов декора, поэтому является уникальным памятником архитектуры для села Лаврово и Тамбовской области.

Окружающая конезавод застройка состоит из малоэтажных жилых домов и хозяйственных сооружений. Напротив, через улицу располагается главная конюшня конного завода. Конюшня, на данный момент, действующая, в ней содержатся несколько десятков лошадей.

Первым владельцем дома, был Лежнёв Владимир Владимирович, потомок известных купцов, сын основателя Еланского конного завода в Саратовской области. Он также являлся директором Лавровского конного завода и заказчиком проекта главного дома. После революции конный завод и всё имущество были национализированы.

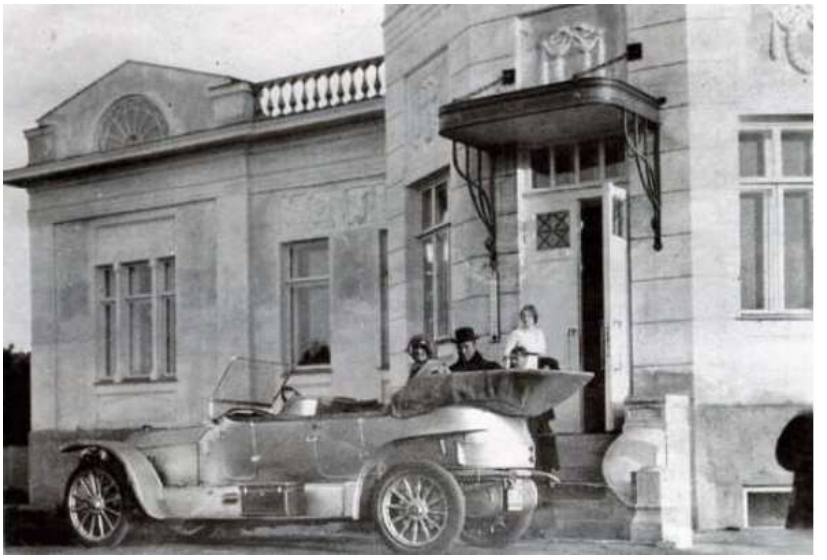


Рисунок 1 – Главный дом. Фото 1912–1913 гг. [2]

В настоящее время основной и часть г-образного объёмов занимает контора нынешнего директора конного завода Гришина С. П., в меньшем объёме и в новой пристройке располагается жилая квартира, в которой проживают родственники бывшего директора конного завода.

Исторический облик памятника. Существует фотография периода1912–1913 года (рис. 1), согласно которой можно сделать вывод, что в эти годы дом уже был построен.

Глобальных перестроек и реставрации на объекте никогда не проводилось. Лишь в 1990 году была возведена пристройка к юго-западному фасаду здания. Первые искажения исторического облика памятника замечены на фотографии 1965 года (рис. 2). Судя по историческому фото, были утрачены: венчающий аттик, балюстрада на крыше здания, витражное остекление двери и кованый козырек в стиле модерн.



Рисунок 2 – Главный дом. Фото 1965 г. Фото из личного архива местных жителей

В последующие годы в ходе замены кровли было также изменено куполообразное завершение над выступающей частью фасада. В 1990 году была возведена диссонирующая кирпичная пристройка с юго-западной стороны фасада, долгое время на месте пристройки располагалась терраса, построенная жильцами. В марте 2020 года были заменены подлинные оконные заполнения, изменено количество и место расположения оконных проёмов в юго-западной части исторического объёма.

Современное состояние памятника. На момент описания (на 2025–2026 гг.), здание находится в удовлетворительном состоянии. Некоторые помещения все еще используются в качестве офисов конезавода, однако многие залы, в том числе и главный, нуждаются в ремонте.

Интерьеры главного зала чудом были сохранены, но находятся в плачевном состоянии. Некоторые декоративные детали были утрачены в предыдущие периоды, а стены поражены плесенью. Поражение наблюдается на верхней части помещения ввиду того, что ранее над помещением было нарушено кровельное покрытие. Влага поступала сверху, соответственно это и вызвало поражение грибком.

По рассказам местных жителей, некоторое время здание конторы использовалось как сельский клуб, о чем может свидетельствовать следующее фото (рис. 3). Посреди главного зала располагается теннисный стол, который ранее, вероятно, использовался по назначению, пока помещения здания перестали быть пригодны для занятий.



Рисунок 3 – Интерьер здания во время нахождения в нем клуба [3]



Рисунок 4 – Поражение отделочных слоев интерьера главного дома грибком. Фото 2021 г.

Подвал здания относительно сухой, но требует ремонта и реконструкции, а именно укрепления кирпичной кладки и мероприятий по устранению грибковых поражением, с использованием антисептика [4, 5].



Рисунок 5 – Подвал здания. Фото 2021 г.



Рисунок 6 – Кровля здания. Фото 2021 г.

Анализ состояния конструктивных элементов памятника и предложения по реставрации.

Фундамент. При осмотре стен подвала с внутренней стороны помещений отмечено наличие отдельных трещин в кладке фундаментов. Общее техническое состояние фундаментов здания оценивается как работоспособное. Отмостка со всех сторон - асфальтовая, в некоторых местах отсутствует. Состояние отмостки: засыпана слоем земли, на поверхности которой растет мох, газон и бурьян. Современное состояние отмостки местами аварийное. Наблюдаются провалы из-за выявленных пустот. Нуждается в восстановлении.

Стены наружные и внутренние. Наружные стены главного здания выполнены из красного кирпича. Стены оштукатурены и окрашены в песочный и белый цвета. Из дефектов и повреждений стен с внешней стороны следует отметить: локальные трещины, провалы в кладке, выпадение кирпичей, разрушение штукатурного слоя. На стенах видны следы потеков воды, во многих местах отсутствуют отливы, межэтажные и цокольные карнизы частично разрушены, идет процесс расслоения и замокания кирпича, есть следы его сильного разрушения, особенно во внутренних углах здания. В данный момент эксплуатируется лишь часть здания и поздняя диссонирующая пристройка [6]. Перед работами по реставрации стен необходимо проведение организационно-подготовительных мероприятий, таких как уборка мусора, обеспечение необходимыми материалами и инструментами, затем обязательно проведение противоаварийных мероприятий, чтобы исключить обрушение кладки на протяжении работ. Только потом возможно проведение остальных мероприятий. В частности, главное здание Лавровского конезавода нуждается в восстановлении кладки и штукатурного слоя, в том числе отделочного.

Перекрытия. Междуэтажные перекрытия в здании железобетонные. По предварительному осмотру перекрытия находятся в удовлетворительном состоянии, Однако требуется проведение работ по гидроизоляции чердачного перекрытия, в силу того, что ранее в здание поступала вода из-за нарушений в кровельном покрытии.

Крыша (стропила, обрешетка, кровля, водосточные желоба и трубы). Историческая конструкция кровли вальмовая. В настоящее время конструкция кровли несколько видоизменена. Купол над эркером был утрачен. Кровля имеет следующие повреждения:

-коррозия металлокровельного покрытия;

-отсутствие водоотведения (есть лишь остатки наружной системы водоотвода);

- утрата исторического облика кровли;
- нарушение целостности кровельного покрытия.

Исходя из этого, для того чтобы восстановить кровле исторический вид, необходима замена кровельного покрытия. Историческое покрытие кровли – металлическое листовое. Желательна замена кровли, выполненной из металлочерепицы на листовое покрытие, соответствующее облику исторической кровли.

Подвал. Состояние подвала удовлетворительное. Однако в подвале нарушена вентиляция и присутствует плесень. На цоколе здания есть следы биопоражения мхом. В связи с этим необходимо провести дезинфекцию и обработку стен антисептиком.

Окна и двери. Состояние окон и дверей аварийное. Некоторые исторические окна были утрачены, оконные проемы были видоизменены. Некоторые окна заменены на пластиковые стеклопакеты. У двери главного фасада утеряно остекление. Двери требуют ремонта, а окна требуют замены на новые, аналогичные историческим, особенно те, что были заменены на пластиковые стеклопакеты в ходе эксплуатации.

Внешнее и внутреннее декоративное убранство (облицовка, окраска, разные украшения, карнизы, колонны, пилястры, лепнина, скульптура, живопись на фасадах). В интерьере здания сохранены исторические декоративные элементы: лепнина и барельефы, декоративные решения фасадов (лопатки, ниши, руст, карниз), соответствующие стилю модерн. Многие элементы декора здания, такие как баллюстрада и кованый козырек были утрачены, но в целом здание сохраняет свой прежний облик, состояние внешнего декора требует его реставрации. При реставрации здания необходимо обратить внимание на утраченные элементы и восстановить исторический декор.

Интерьер. Отделка стен и потолков выполнена искусно, присутствуют сложные по форме изящные гипсовые карнизы, колонны, пилястры, декоративное оформление дверных и оконных проемов. Интерьер фойе расписан фресками на конную тематику, помимо этого сохранены остатки росписи потолка. Несмотря на богатство убранства, интерьер частично разрушен плесенью.

Полы. Исторические полы в здании – паркетные. В связи с тем, что кровля в помещениях была нарушена, и здание долгое время простаивало, не исключено, что необходима полноценная замена покрытия. При реставрации желательно использовать историческое покрытие, лучше всего – паркет.

Прилегающая территория. На территории ансамбля присутствуют остатки барского парка, неподалеку обнаружены остатки прудов (на момент исследования пруды осушены), однако в настоящее время парк находится в запустении. Часть бывшего парка застроена жилыми домами и хозяйственными постройками. Территория конезавода не благоустроена. Здание утопает в зарослях бурьяна, территория конезавода труднопроходима, в том числе из-за сена, предназначенного для лошадей, и конского навоза. На территории ансамбля расположены руины построек конца XIX – начала XX веков, также находятся руины сгоревшей конюшни. Из зданий ансамбля эксплуатируются: главный дом (частично, несколько комнат занимает офис ИП Гришина, часть здания вместе с поздней пристройкой эксплуатируются как жилой дом), конюшня №1 (в ней содержатся несколько десятков лошадей), конюшня №2 (используется для хранения сена). Конюшня №3 пустует.

На основании архитектурного и натурного анализа, а также исследования архивных и библиографических исследований сохранившихся построек и элементов парка были определено техническое состояние главного здания, а также его конструктивные особенности, степень сохранности и основные разрушения.

Вывод: Отталкиваясь от анализа территории можно сделать вывод, что постройки стремительно разрушаются. Прошло больше столетия с года строительства изучаемых объектов. На данный момент объекты находятся в неудовлетворительном состоянии и требуют проведения ремонтно-реставрационных работ. Благоприятным исходом для данной застройки будет обеспечение ряда работ и комплексной реставрации по периметру фасадов и благоустройство близлежащей территории без конфликта с проектируемыми зонами охраны.

В первую очередь следует сделать ремонт кладки фундаментов, провести ряд работ по гидроизоляции стен, очистить кирпичную кладку от загрязнений, заполнить трещины, воссоздать утраты. Помимо восстановления всех фасадов, требуется реставрация внутри здания: восстановление потолочных перекрытий и напольного покрытия, стен, раскрытие дверных и оконных проемов, реставрация интерьеров.

Список использованных источников

1. Военно-статистическое обозрение Российской империи. Тамбовской губернии. СПб., 1851. С. 73-74; Книга рысистых лошадей в России с определением чистопородности. Ч. 1. Тамбовская губерния.

СПб., 1868; Сборник материалов для описания Тамбовской губернии /Сост. Л. Воейков. СПб., 1872. С. 120; Тамбовская правда. 1965. 1 июля.

2. Фотографии прошлого [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pastvu.com/p/69605(дата обращения 19.01.2026).

3. Лаврово. Тамбовская область. Мордовский район. Усадьба Лаврово. Лавровский конный завод Воейкова-Лежнева. Середина и конец XIX, начало XX века.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://telegra.ph/Lavrovo-Tambovskaya-oblast-Mordovskij-rajon-Usadba-Lavrovo-Lavrovskij-konnyj-zavod-Voejkova-Lezhneva-Seredina-i-konec-XIX-nachal-06-11(дата обращения 19.01.2026).

4. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И. и др. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.

5. Швец В.Б., Феклин В.И., Гинзбург Л.К. Усиление и реконструкция фундаментов. М.: Стройиздат, 1985.

6. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий.М.,1997г. Шилин, А.А. Кирпичные и каменные конструкции. Повреждения и ремонт: учеб. пособие для вузов / А.А. Шилин.— М.: изд-во "Горная книга", МГГУ, 2009.—214с.

УДК 728.83
67.07.29: Памятники архитектуры. Мемориальные комплексы

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ И СПОСОБЫ АДАПТАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ УСАДЕБНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Кучер Мария Дмитриевна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», магистрант, e-mail: mari.puchkova.2552@mail.ru

Кокорина Елена Валерьевна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кандидат архитектуры, доцент кафедры «Теории и практики архитектурного проектирования», e-mail: lenakokorina@mail.ru

Исторические усадебные комплексы представляют собой уникальный и ценный пласт культурного и архитектурного наследия. Эти архитектурные ансамбли, включающие в себя главные дома, садово-парковые зоны, промышленные хозяйственные постройки и другие элементы, являются уникальными свидетельствами исторической, социальной и культурной жизни своего времени. На протяжении XX века многие из них оказались в состоянии заброшенности, утратили изначальные функции и начали подвергаться разрушению. В современном обществе проблема сохранения и адаптации усадебных комплексов становится особенно актуальной, поскольку их утрата приводит к исчезновению памятников архитектуры.

На сегодняшний день требуются разработки интегрированного подхода, которые сочетали бы реставрацию и сохранение исторической составляющей с адаптацией усадеб к новым реалиям и функциям. Особое значение имеет междисциплинарный подход, который позволяет органично интегрировать исторические усадьбы в общественную и культурную среду. Адаптация, ориентированная на образовательные, музейные, рекреационные и туристические функции, способствует не только сохранению объектов культурного наследия, но и их экономической устойчивости. Так как содержание понятий «прошлое», «настоящее» и «будущее» раскрывается через мировоззрение традиции, преемственность, специфику синтеза искусств, историко-архитектурные аспекты, социально-экономические условия, типологию, методы формообразования, взаимодействие архитектуры и научно-технического прогресса» [12, с. 78].

Формирование музейных комплексов «в контексте современной культуры отражают стремительные изменения» в новейшей музейной практике [12]. Реставрация с музеефикацией для последующего коммерческого использования и введение образовательных, туристических и креативных функций — это лишь часть подходов, которые требуют глубокого научного обоснования. А.Ю. Гиль отмечает, что музеи находятся «на пороге превращения в динамично развивающуюся отрасль науки, искусства. Бизнеса и культуры» [7].

Научная новизна заключается в систематическом подходе исследования проблем сохранения усадебных комплексов с использованием междисциплинарного подхода. Сохранение исторических усадебных комплексов в настоящее время является предметом активных исследований и поддержки со стороны государственных программ (федеральный проект «Усадебное достояние РФ», проект ВООПИК «Консервация»), частных инвесторов и фондов (такие как «Общество Изучения Русской

Усадьбы (ОИРУ)», «Ассоциация владельцев исторических усадеб», национальный фонд «Возрождение русской усадьбы» и др.). Сформировавшаяся база научных публикаций [3, 5, 6, 11, 15, 25] и реализованных проектов в этой области легла в основу настоящего исследования.

Основные проблемы сохранения усадебных комплексов

Сегодня разрушение усадебных комплексов связано с рядом важных факторов. Среди них: физическое разрушение, юридические вопросы и права собственности, недостаток финансирования, приостановка работ из-за отсутствия специалистов, отсутствие единой стратегии адаптации и т.д.

Реставрация исторических усадебных комплексов представляет собой ключевой этап в процессе их сохранения и адаптации для современного использования. Она играет фундаментальную роль в продлении жизни этих объектов, поскольку направлена на восстановление их исторического облика и предотвращение дальнейшего разрушения. Основная задача реставрации заключается в том, чтобы максимально сохранить первоначальную архитектурную идентичность усадебного комплекса. Это особенно важно в тех случаях, когда объект, несмотря на свое состояние, сохраняет значительную часть оригинальных конструкций, декоративных элементов или других материальных свидетельств своего исторического прошлого. И.М. Алексеев формулирует ключевые принципы сохранения архитектурных традиций [1], включая:

- восстановление средовой идентичности как способ реновации;
- создание единой системы архитектурного дизайна, гармонирующей с характером исторической среды;
- реконструкция утраченной застройки путем восстановления существующих объектов или возведения новых, соответствующих масштабу исторического пространства;
- использование образа как стилистической основы, обязательно учитываемой при реновации исторических объектов;
- сохранение культурной и национальной идентичности, способствующей формированию патриотизма;
- поддержание визуальной преемственности архитектурной среды;
- обеспечение передачи и сохранения исторической и культурной памяти;
- защита культурного разнообразия как важного фактора устойчивого развития [1].

Реставрация исторического облика усадебных комплексов позволяет активизировать их культурный и экономический потенциал. Усадьбы с сохраненной архитектурной идентичностью становятся «точками притяжения» для туристов, способствуют привлечению инвестиций и развитию сопутствующей инфраструктуры. Примерами успешной реставрации могут служить такие проекты, как парк-усадьба «Студеные Ключи» в Ивановской области [18] или усадьба «Карабиха» под Ярославлем [20], где восстановление первозданного облика позволило создать значимые культурные и туристические центры.

Реставрационные работы также закладывают основу для последующей адаптации усадеб к современным условиям. После восстановления их исторического облика становится возможным аккуратное внедрение современных инженерно-технических решений, необходимых для обеспечения функциональности зданий. Это позволяет гармонично синтезировать прошлое и настоящее, сохраняя дух и величие исторического пространства, но при этом делая его пригодным для актуальных задач – от музеев и культурных центров до гостиничных комплексов и деловых пространств. «Выступая в своей основе чаще всего совокупным символом среды, музей и музейные комплексы не только отражают дух места, но и организовывают рекреационное и общественное пространства» [13].

Таким образом, реставрация является не просто первым этапом, но и важнейшим условием для сохранения подлинных ценностей исторических усадеб. В тех случаях, когда это возможно, необходимо максимально сохранять первозданный облик объектов, поскольку именно через него проявляется историческая идентичность места, а также передается культурное и архитектурное наследие будущим поколениям: «Благодаря творчеству продолжается развитие культуры… осуществляется выход к новым смысловым горизонтам, новым формам и способам культурного бытия» [10, с. 388].

Способы адаптации исторических усадебных комплексов к современному использованию

Реставрация и адаптация исторических усадеб для включения их в современные культурно-туристические практики основываются на ряде ключевых принципов [6], обеспечивающих сохранение их историко-культурной значимости и интеграцию в современные реалии:

1. Принцип исторической достоверности (аутентичности). Данный принцип подразумевает максимально точное сохранение или восстановление материальных и нематериальных характеристик объекта, включая архитектурные детали, конструктивные элементы, материалы, а также уникальную историческую атмосферу. Аутентичность объекта является основой для его культурной и исторической ценности, что особенно важно для туристического восприятия.

2. Принцип преемственности. Этот принцип направлен на сохранение исторической связи между прошлым, настоящим и будущим объекта. Преемственность выражается в сохранении традиционных функций или их переосмыслении в рамках современного контекста, а возведение на территории усадьбы новых построек должно поддерживать гармонию существующего ансамбля, что позволяет сохранять «память места» (genius loci) и поддерживать его культурный смысл.

3. Принцип пространственной целостности. Подразумевает сохранение, восстановление или создание гармоничного единства архитектурного объекта с окружающей территорией и природным ландшафтом. Пространственная целостность предполагает внимание к историческим границам усадебных комплексов, а также взаимодействию объекта с окружающей средой.

4. Принцип автономности. Означает сохранение самодостаточной функциональной и визуальной структуры исторического объекта, идея «города в городе». Усадьба должна сохранить свою уникальность и характер как обособленной архитектурной и культурной единицы, не растворяясь в современной урбанистической среде, что позволяет ей оставаться туристической и культурной «точкой притяжения» [6].

Концептуальные подходы к адаптации опираются на сочетание реставрационных технологий, архитектурной преемственности, инновационных решений и учета современных потребностей общества. Ниже представлены основные концептуальные подходы, которые сегодня формируют базис для работы с историческими усадьбами:

1. Адаптация под музеи. Для музейных проектов принцип исторической достоверности среды является приоритетным. Усадьба должна максимально сохранять свою аутентичность, включая архитектурные элементы, интерьерные решения и историческое окружение, чтобы обеспечить у посетителей эффект «погружения» в прошлую эпоху. Для этого требуется бережная реставрация исторических зданий и тщательная реконструкция утраченных элементов. Важным дополнением становится использование мультимедийных технологий, интерактивных экспозиций и аудиовизуальных средств для презентации исторических и культурных материалов в современном формате, не нарушающем атмосферу усадьбы. Среди примеров музеефикации исторических усадеб можно выделить Государственный музей-заповедник «Остафьево», также известный как «Русский Парнас» [20], отображающий культуру и быт XIX века, он связан с именами выдающихся деятелей культуры, таких как Карамзин, Пушкин и Жуковский; музей-усадьба Л.Н. Толстого «Ясная Поляна» [16] в Тульской области хранит историю жизни великого писателя.

2. Культурно-образовательные комплексы. Для культурно-образовательных комплексов историческая среда выступает не самоцелью, а скорее эффектным и значимым фоном для проведения образовательных мероприятий. Усадьбы могут быть приспособлены под учебные пространства, мастерские, лекционные залы, галереи и библиотеки, а прилегающие территории — для экскурсий и практических занятий на природе. Знакомство посетителей с народными традициями, художественными ремеслами, музыкой, искусством или историей региона становится основной функцией этих пространств. При этом важно сохранить общую историческую атмосферу, однако при проектировании акцент делается на создание условий, способствующих обучению и коммуникации. Культурный центр «Михалково» [14] - воплощение концепции культурно-образовательного комплекса, он сочетает историческое наследие и современность, превращая один из флигелей бывшей усадьбы Дашковых и Паниных в экспозиционное пространство, где создается междисциплинарная среда для знакомства с искусством. Культурный центр «Михалково» представляет программу, которая включает выставки, экскурсии, лекции, мастер-классы, концерты, кинопоказы, а также литературные и музыкальные вечера и другие культурно-просветительские мероприятия.

3. Культурно-развлекательные комплексы. Для культурно-развлекательных комплексов большое значение имеют просторные открытые площадки на территории усадьбы и прилегающих земель. Такие комплексы идеально подходят для организации массовых мероприятий, включая народные гуляния, ярмарки, фестивали, театрализованные постановки, концерты, семейные и корпоративные мероприятия. Особое внимание при адаптации уделяется модернизации инфраструктуры для обеспечения удобства большого количества гостей, включая парковочные зоны, транспортное сообщение и санитарные объекты. Ярким примером служит усадьба «Гребнево» в Щелково Московской области [26], где на восстановленной территории разместился масштабный комплекс.

4. Туристические гостиничные комплексы. Исторические здания можно адаптировать под гостиничные номера, а вспомогательные постройки использовать для размещения спа-центров, ресторанов или небольших конференц-залов. В этом случае важным аспектом является сохранение оригинальных архитектурных черт и создание комфортных условий для проживания. Живописная территория усадьбы станет отличной основой для организации экскурсионных маршрутов, прогулочных зон и свадебных фотосессий, что добавляет объекту туристической привлекательности. Примером служит уникальный по эстетическому восприятию бутик-отель «Усадьба Хлудова» в г. Сочи

[4] - архитектурный памятник, сочетающий атмосферу старины и современности. Отель окружен тропическим парком, предоставляет изысканные номера в стиле русского барокко и пространства для отдыха и мероприятий.

5. Многофункциональные пространства. В некоторых случаях усадьбы адаптируются под многофункциональные комплексы, объединяющие в себе несколько форматов использования: гостиницы с размещением выставок, учебные пространства, концертные залы и зоны активного отдыха. Такой подход позволяет значительно расширить целевую аудиторию и привлечь инвесторов. Усадьбы становятся культурными центрами, способствующими взаимодействию локальных сообществ и туристов. Однако, при многофункциональном использовании особое внимание уделяется зонированию пространства и обеспечению гармоничного сочетания новой функции с исторической идентичностью объекта. Такого концептуального подхода придерживались архитекторы при разработке мастер-плана развития территории музея-усадьбы «Архангельское» [19], включающего реставрацию павильонов, создание рекреационных зон, образовательных и сервисных объектов, воссоздание Ботанических оранжерей. Все новые постройки выполнены в едином, сдержанном дизайн-коде для сохранения архитектурной гармонии усадьбы [19].

6. Инновационные туристические проекции. Современные технологии позволяют усадьбам стать площадками для уникальных проектов. Например, использование дополненной и виртуальной реальности может позволить посетителям «путешествовать во времени», чтобы увидеть, как усадьба выглядела на разных этапах своего существования. Также возможно внедрение экологически устойчивых решений, таких как «умные» энергосистемы, автономные водоснабжение и отопление, что делает усадьбы примером экологичной архитектуры. В подмосковном музее-заповеднике «Усадьба Мураново» [17] успешно реализован такой уникальный проект по оцифровке музейной коллекции. В рамках инициативы были созданы детализированные 3D-модели экспонатов.

7. Реконструкция естественных и искусственных ландшафтов. Приоритетным является принцип восстановления исторических ландшафтов, включающих парковые зоны, водоемы, аллеи и другие элементы усадебной территории. Эти пространства могут использоваться как рекреационные зоны, включающие маршруты для пеших или велосипедных прогулок, зоны пикников или театральных представлений на открытом воздухе. Например, парк «Сад Будущего» (бывший парк усадьбы «Леоново») [21] в Москве, был восстановлен по сохранившимся чертежам XVII-XVIII вв. и архивным фотографиям, были восстановлены прогулочные дорожки и аллеи, воссоздан партерный цветник и фонтан, расположились детские и спортивные площадки, беседки, зона коворкинга и эко-тропы рядом с р. Яузой [21].

8. Сохранение атмосферы и индивидуальности. Ключевым принципом для всех адаптационных решений является сохранение уникального характера усадьбы. Каждая усадьба отличается своим историческим наследием, архитектурным стилем и территориальной спецификой, и задача архитектора - выявить и подчеркнуть это своеобразие. Это не только повышает ценность объекта в культурно-туристическом плане, но и создает эмоциональную связь посетителей с историческим пространством.

Для восстановления и адаптации исторических усадебных комплексов используются методы:

- консервация — сохранение текущего состояния объекта, предотвращение дальнейшего разрушения без изменений или дополнений [8];
- реставрация — восстановление первоначального вида объекта с учетом исторической достоверности [24];
- регенерация — активизация и обновление территории или объекта с сохранением исторического духа [25];
- реконструкция — восстановление утраченных элементов или облика объекта на основе научных данных [25];
- восстановление — возвращение объекту состояния, максимально приближенного к историческому [8];
- приспособление — адаптация объекта к современным функциям при сохранении историко-культурной ценности [27];
- модернизация — внедрение современных технологий и материалов без утраты культурной значимости объекта [6]
- дополнение — включение новых элементов в существующую структуру объекта, совместимых с его стилем и эпохой [6]
- раскрытие — выявление и демонстрация скрытых исторических или архитектурных особенностей объекта [6]
- метод определения оптимальной исторической даты периода, на который ориентируются при восстановлении объекта, чтобы подчеркнуть его архитектурную и историческую значимость [8];

- метод планировочного моделирования — разработка пространственных решений для реставрации или адаптации объекта с учетом его исторического облика и современного использования [6];
- метод последовательного развития объекта — поэтапная работа над объектом, объединяющая его сохранение, восстановление и развитие со временем [6, 2].

Стоит отметить реваloризацию и ревитализацию — способы (или подходы) адаптации культурного наследия. Они направлены на переосмысление и «вдохновение новой жизни» в объекты с целью их сохранения и более активного использования в современном контексте:

- реваloризация — переосмысление и актуализация ценности объекта культурного наследия, часто через новые функции или современный взгляд [24];
- ревитализация — «оживление» объекта или территории, включающее восстановление и интеграцию в современную жизнь, например, через придание новой роли или использование в качестве культурного, общественного или коммерческого пространства [24].

Границы проектируемой территории должны быть сформированы с учетом исторического контекста, ценности объекта и современных потребностей, что требует системного подхода к анализу. Анализ архивных материалов и старинных планов позволяет выявить первоначальные границы и выявить их эволюцию на протяжении веков. Усадьба должна быть гармонично интегрирована в окружающую среду. Охранные зоны защищают сам объект и поддерживают его историческое и природное окружение. Пространственная целостность объекта проектирования формируется за счет объединения всех связанных территорий, которые обеспечивают гармонию между историческое наследие и современное использование [27, ст. 3.1].

Выводы

Сохранение исторических усадебных комплексов требует комплексного анализа факторов разрушения: естественного старения материалов, антропогенного воздействия (включая вандализм и неконтролируемую эксплуатацию), утраты архитектурных элементов и несоответствия современным условиям использования. Ключевым инструментом защиты наследия выступает реставрация, нацеленная на сохранение подлинности объекта и его историко-культурной ценности. При этом адаптация усадеб к современным функциям (музейным, туристическим, жилым или общественным) должна базироваться на дифференцированном подходе.

Сочетание принципов и методов сохранения исторических усадебных комплексов позволяет не только остановить деградацию объектов, но и обеспечить их устойчивое функционирование в долгосрочной перспективе. Это сохраняет историческую идентичность усадеб, делая их значимым ресурсом для культурного и экономического развития регионов.

Список использованных источников

1. Алексеев А. А. Реконструкция и реновация исторически сложившихся площадей в центре Москвы : автореф. дис. … канд. архитектуры. М., 2006. 24 с.
2. Бальзанникова Е. М. Восстановление объектов историко-архитектурного наследия в России // European Science Review. 2014. № 1–2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vosstanovlenie-obektov-istoriko-arhitekturnogo-naslediya-v-rossii (дата обращения: 21.03.2026).
3. Брендоусова Е. К. Методы сохранения архитектурных традиций при реновации зданий и сооружений // Баландинские чтения. 2020. Т. 15, № 1. С. 16–22. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-sohraneniya-arhitekturnyh-traditsiy-pri-renovatsii-zdaniy-i-sooruzheniy (дата обращения: 04.03.2026).
4. Бутик-отель «Усадьба Хлудова», г. Сочи. URL: https://khludov-sochi.ru/ (дата обращения: 09.03.2026).
5. Васильева Ю., Хайруллина А. Регенерация исторической среды усадьбы Талицы как способ включения объекта культурного наследия в современное социокультурное пространство // Мир искусств : Вестник Международного института антиквариата. 2016. № 3 (15). С. 34–48. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/regeneratsiya-istoricheskoy-sredy-usadby-talitsy-kak-sposob-vklyucheniya-obekta-kulturnogo-naslediya-v-sovremennoe-sotsiokulturnoe (дата обращения: 04.03.2026).
6. Власюк Н. Н., Потаев Г. А. Научно-методические основы восстановления и адаптации исторических усадеб Беларуси для культурно-туристского использования // Наука и техника. 2006. № 2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-metodicheskie-osnovy-vosstanovleniya-i-adaptatsii-istoricheskih-usadeb-belarusi-dlya-kulturno-turistskogo-ispolzovaniya (дата обращения: 04.03.2026).
7. Гиль А. Ю. Изменения в деятельности музеев с учетом тенденций развития современного общества // Вестник Томского государственного университета. 2012. № 364. С. 49–53.

8. ГОСТ Р 55528—2013. Состав и содержание научно-проектной документации по сохранению объектов культурного наследия. Памятники истории и культуры. М. : Стандартинформ, 2014. С. 13.
9. Захарова О. А. Российский опыт реновации ценных историко-архитектурных объектов // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2016. С. 86–90.
10. Кармазин Ю. И. Творческий метод архитектора: введение в теоретические и методические основы : монография. Воронеж : ВГАСУ, 2005. 496 с.
11. Кимеева Т. И., Юдин М. О. Формирование методики реставрации объектов архитектурного наследия: исторический аспект // Genesis: исторические исследования. 2019. № 3. С. 72–79. URL: https://e-notabene.ru/hr/article_29308.html (дата обращения: 04.03.2026).
12. Кокорина Е. В. Музеи. Воплощение теоретических концепций : монография. Воронеж : Мастерская книги, 2019. 192 с.
13. Кокорина Е. В., Танкеев А. С. Теоретические концепции и научно-проектные предложения формирования современных музейных комплексов : учеб. пособие. Воронеж, 2015. 115 с.
14. Культурный центр «Михалково». URL: https://mikhalkovo.moscow/cultural-center (дата обращения: 07.03.2026).
15. Молодых М. С. Историко-культурное наследие загородных дворянских усадеб Воронежской области: системный подход к вопросам анализа, сохранения и использования : дис. … канд. арх. Воронеж, 2018. 226 с.
16. Музей «Ясная Поляна». URL: https://ypmuseum.ru/about (дата обращения: 07.03.2026).
17. Музей Мураново. URL: https://muranovo-museum.ru/ (дата обращения: 09.03.2026).
18. Музей-заповедник Н. А. Некрасова «Карабиха». URL: https://muskar.ru/about/karabiha/ (дата обращения: 04.03.2026).
19. Музей-усадьба «Архангельское», Московская область. URL: https://wowhaus.ru/project/muzej-usadba-arhangelskoe (дата обращения: 09.03.2026).
20. Официальный сайт Государственного музея-заповедника «Остафьево». URL: https://ostafyevomuseum.ru/ (дата обращения: 07.03.2026).
21. Парк «Сад Будущего». URL: https://park-yauza.info/park/sad-budushchego/ (дата обращения: 10.03.2026).
22. Парк-усадьба Студеные ключи. URL: https://usadbakluchi.ru/ (дата обращения: 04.03.2026).
23. Реставрация // Краткий словарь терминов изобразительного искусства / под ред. Г. Г. Обухова. М. : Советский художник, 1961. С. 136.
24. Реставрация памятников архитектуры / С. С. Подъяпольский [и др.]. М. : Стройиздат, 1988. 264 с.
25. Топорина В. А., Голубева Е. И. Русская провинциальная дворянская усадьба как природное и культурное наследие. М., 2021. 218 с.
26. Усадьба Гребнево. URL: https://usadba-grebnevo.ru/ (дата обращения: 07.03.2026).
27. Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» // Собрание законодательства РФ. 2002. № 26. Ст. 2519.

УДК 336.226
67.07.00 Архитектура

ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ БУДУЩЕГО ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ

Максименко Александр Евгеньевич
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского», кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и архитектуры

Гончарук Дарья Аркадьевна
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского», студент
E-mail: dashagon060808@gmail.com

В современном мире происходят радикальные перемены, которые затрагивают все сферы жизни. Архитектура, как отражение человеческой культуры и технологий, постоянно развивается, отвечая на вызовы современности и ожидания будущего. От исторических корней до современных

технологических инноваций, архитектура играет ключевую роль в формировании среды, в которой мы живем.

Современные тенденции, такие как устойчивость, энергоэффективность, интеграция технологий, и ответственность перед окружающей средой, указывают на возрастающую осознанность важности создания гармоничного и здорового пространства для человека.

Промышленная революция принесла с собой изменения не только в технологиях, но и в архитектуре. Возникновение новых материалов, таких как железо, сталь и стекло, а также новых технологий, позволило создавать совсем другие строительные конструкции. Все это привело к рождению современной архитектуры. Разнообразие современных архитектурных стилей является свидетельством неутомимого поиска человеком новых архитектурных решений и форм.

Традиционные архитектурные подходы, ориентированные на последовательное соблюдение инструкций,
не всегда обеспечивают необходимую масштабность и эффективность использование современных цифровых технологий. Тем не менее, цифровые технологии продолжают внедрятся строительными компаниями, которые в свою очередь получают преимущества от своих инвестиций.

Архитектура будущего формируется под влиянием технологических инноваций, экологических вызовов
и социальных изменений. Она будет отражать не только эстетические предпочтения, но и реагировать на потребности современного мира.

Вопросам внедрения цифровых технологии в строительные отрасли особое внимание уделяется на государственном уровне, различные государственные документы посвящены стратегии внедрения цифровых технологий на период до 2030 года.

Технологические инновации в архитектуре открывают новые возможности для дизайна и конструкции. Современный мир не стоит на месте, и это влияет на многие аспекты жизни, включая архитектуру. Современное строительство постоянно эволюционирует, вдохновляется новыми технологиями, стилями и материалами. Архитектурные тренды становятся не только отражением современного вкуса, но и отвечают нашим потребностям и требованиям к функциональности, эстетике и постоянству.

Сегодня архитекторы становятся более экспериментальными и открытыми к новым визуальным решениям. Они экспериментируют с геометрическими формами, используют необычные контуры и структуры, чтобы создать уникальный внешний вид здания. Например, это могут быть здания со скрученными фасадами, изящные стеклянные конструкции или чрезвычайно простые и геометрические формы.

Преимущество компьютерных технологий заключается в том, что при проектировании зданий с помощью программных пакетов, риск программных ошибок сводится к минимуму. Графическая объектная модель помогает проектировщику видеть весь объект и отдельные проектные единицы, манипулировать ими и вносить изменения. Таким образом, компьютерные технологии позволяют проводить альтернативное обрабатывание проектных решений, что в конечном итоге позволяет выбрать преимущественно подходящий вариант с точки зрения технического совершенства и экономической выгоды [1].

Современные архитектурные тренды отражают стремление к функциональности и удобству. Здания проектируются с ориентацией на потребности заказчика, обеспечивая комфортные пространства для жизни, работы и отдыха. Эксперименты с формами и инновационными конструкциями добавляют изящества и оригинальности к общему городскому пейзажу. А улучшенная энергоэффективность и комфортные пространства создают здоровую и приятную среду для проживания. Минималистичный подход помогает сосредоточиться на существенных элементах и снижает избыточность, что способствует спокойствию и гармонии. Использование экологически чистых материалов способствует сохранению природных ресурсов и уменьшению влияния на среду.

Архитектурные тренды очень важны для развития строительной отрасли. Ведь они отражают наши ценности, потребности и стремление к устойчивой и функциональной среде. Каждый тренд имеет свои преимущества и возможности, но задача, которая стоит перед каждым девелопером - найти баланс между новаторством и практичностью. Именно эта гармония помогает создавать привлекательные, эстетически удовлетворительные пространства.

Внедрение цифровых технологий в архитектурную сферу значительно расширяет творческие возможности, улучшает качество проектов и оптимизирует процессы, что делает архитектуру более эффективной и современной.

Современные компьютерные информационные технологии оказывают существенное влияние «на сферу воображения архитектора, но их главное предназначение – усилить одно из традиционно ведущих звеньев развития архитектуры – проектный эксперимент» [2].

Информационные технологии сегодня начали все быстрее прогрессировать в строительстве. Конструктивные просчеты, которые являются неотъемлемой частью строительства, выходят на другой уровень скорости и сложности. Это открывает новые возможности в строительной сфере, которые пока даже трудно представить. Цифровые технологии, которые компании сегодня используют для выполнения своих повседневных задач, позволяют создавать проекты гораздо быстрее. Однако, какие из технологий оказались наиболее эффективными и насколько они меняют проекты к лучшему?

Одним из новых этапов цифровизации строительства стали направления роботизации и автоматизации процессов проектирования. С использованием компьютерных программ и алгоритмов, архитекторы могут автоматизировать рутинные и повторяющиеся задачи, такие как создание планов этажей, размещение окон и дверей, расчеты статической нагрузки и другие. Это позволяет существенно сократить время, затрачиваемое на проектирование, и повысить его точность. Кроме того, это позволяет архитекторам более свободно экспериментировать с вариантами проекта и быстро вносить в него изменения.

В данном случае, автоматизация проектирования способствует улучшению качества, поскольку компьютерные программы могут выполнять сложные расчеты и анализы, которые трудно выполнить вручную. В свою очередь, точность расчетов позволяет снизить риски ошибок, связанных с результатами расчетов.

Однако цифровизация не заменит этапа, связанного с закладыванием постановки задачи перед компьютером. Для того чтобы проект был разработан, рассчитан, необходимо систематизировать и ввести данные в систему проектирования, а также разработать программное обеспечение, которое сможет обрабатывать исходную информацию, планировать рабочие процессы.

Сейчас технологии цифровизации широко применяются в строительстве. Автоматизированные системы управляют чертежами, исполнительной документацией, многочисленными отчетами, закупочными ведомостями, и пр. Однако этот процесс скорее напоминает лоскутную автоматизацию, чем полноценную цифровизацию. Например, контроль строительства может быть охарактеризован как цифровой, однако управление на основе данных пока не реализовано.

Совершенствование компьютерных технологий, вызванное развитием строительных технологий, возникла необходимость в совершенствовании и технологий компьютерных. BIM-системы (Building Information Modeling) и стали новой ступенью на пути этого развития. BIM – это цифровые методики, которые позволяют создавать трехмерные модели строительных объектов от фундамента до крыши. Цифровые методики позволяют проинспектировать строительный процесс без конструктивного вмешательства при помощи построения трехмерной модели на любом этапе, кардинально меняют строительную отрасль прямо на глазах, а вместе с ней вид зданий, улиц и городов.

С развитием BIM-систем получило развитие еще одно направление цифровых технологий - 3D-моделирование. Используя специализированное программное обеспечение, архитекторы получили возможность создавать реалистичные 3D-модели зданий. 3D-моделирование позволяет архитекторам визуализировать концепцию будущего объекта, точно представляя будущую модель. С помощью 3D-моделирования создаются самые сложные и нетрадиционные архитектурные формы, что позволяет производить точные расчеты, оптимизировать пространство.

Цифровые технологии также позволяют проектировать более сложные структуры. С помощью 3D-печати архитекторы могут создавать уникальные элементы, которые ранее были невозможны с использованием традиционных материалов и методов.

Эта относительно новая технология осуществила настоящую революцию в сфере строительства, ведь позволяет возводить сложные модульные конструкции за короткое время.

Швейцария поразила мир самой высокой в мире башней - Tor Alva высотой 30 метров. Звучит фантастически? А это - реальные возможности современного строительства. Башня Tor Alva, созданная из бетона с помощью 3D-печати. Процесс аддитивного производства позволил наносить бетон слой за слоем, укрепляя его стальными кольцами каждые 20 сантиметров и добавляя продольную арматуру после печати, что устранило необходимость в опалубке.

Одно из самых больших преимуществ 3D-печати — это возможность создавать прочные и энергоэффективные дома с комфортным микроклиматом внутри. Материал наносится слоями, формируя фундамент, стены, другие элементы дома и перекрытия. И что самое главное - весь процесс происходит без участия человека. 3D-принтер является лучшим инструментом для индивидуального дизайна. Вы можете напечатать дом любой формы, не волнуясь за отдельные детали и элементы - принтер учтет и их.



Рис. 1. 3D-печатная башня Tor Alva (Швейцария, деревня Мульенс)

К несомненным преимуществам 3D-печати относятся: темпы строительства (на сегодня это самая быстрая технология); экономичность ввиду меньших затрат на материалы и оплату рабочей силы; экологичность, которой удается достичь благодаря меньшему количеству строительных отходов.

Относительно вида, здания, напечатанные на 3D-принтере, имеют более плавные формы и стильные характерные линии, образованные слоями печати. Конечно, их не сравнить с безупречными фасадами домов из привычных строительных материалов - 3D-печатные сооружения выглядят «сырыми», поэтому их применение на данном этапе скорее практическое, чем эстетическое. Эта технология еще не достигла уровня традиционного строительства, и имеет ряд недостатков. Среди них: ограничения по высотности, печать зависит от погодных условий (осадки и перепады температуры могут препятствовать процессу).



Рис.2 3D-принтер для бетона

Повсеместное применение возможностей искусственного интеллекта в жизни человека сказалось на его внедрение и в строительную отрасль. Искусственный интеллект применяется для автоматизации рутинных задач, связанных с анализом больших данных. Архитекторы все чаще стали применять данные, сгенерированные искусственным интеллектом для обоснования решений по размещения зданий, их ориентации, планировке помещений, оптимизации энергопотребления на основе климатических данных, транспортных потоков.

Но одной из самых захватывающих инноваций в дизайне и проектировании является виртуальная реальность. С помощью технологий виртуальной реальности архитекторы могут делать полностью интерактивные модели своих будущих проектов, что позволяет заказчикам получить представление о будущем здании, позволяет тестировать и изменять дизайн и даже прогуляться по виртуальным помещения.

Необходимо отметить и «цифровой разрыв» между передовыми разработками и их практическим применением в строительной индустрии. Возможности цифрового дизайна и цифрового производства значительно опережают традиционные методы строительства и квалификацию архитекторов, дизайнеров, рабочих на строительной площадке. Проектирование сложных форм становится бессмысленным, если нет возможности их качественно и экономично реализовать физически. Все эти современные технологии требуют значительных финансовых вложений в изменение производственных процессов, и прежде всего обучение персонала.

Кроме того, не стоит забывать о том, что цифровой алгоритм закладывается на основании данных, которые должен внести человек. При использовании алгоритмического дизайна и искусственного интеллекта для принятия решений, ответственность за ошибки или недостатки в проекте будут нести разработчик алгоритма, и архитектор, который его применял.

Строительную отрасль часто критикуют за излишний консерватизм, стандартизацию и бюрократизм в документообороте. Однако новейшие технологии строительства внедрять непросто, поскольку ключевые требования к объектам — это соблюдение безопасности, так как каждая технология должна иметь нормативную базу, стандартизацию и самоокупаемость: окончательная цена на ее разработку должна являться адекватной, а эффективность в сокращении затрат в будущем — существенная, плюс пролонгированная во времени. Каждая технология строительства требует соответствующего проектирования и целого комплекса работ проджект-команды, высококачественного контроля, а также обучения персонала [4].

Цифровые технологии имеют огромный потенциал для сферы проектирования, моделирования. Такие программы позволяют более точно представить будущий объект. Системы автоматизации позволяют эффективно обрабатывать информацию, позволяют хранить и организовывать большие объемы данных. Цифровые технологии позволяют улучшить производство, ускорить и упростить процесс строительства, повысить качество и надежность будущего объекта.

Программы для моделирования позволяют создавать трехмерные модели объектов и систем, анализировать данные, полученные в результате моделирования. Такие программы позволяют более точно представить будущий объект и провести его виртуальное моделирование, дают возможность хранить и организовывать большие объемы данных, а также обеспечивают доступ к ним для участников строительства.

Виртуальная реальность и 3D-моделирование значительно улучшают эффективность и точность работы архитекторов. Они позволяют создавать более реалистичные и функциональные проекты, улучшают взаимодействие между участниками процесса.

Цифровые технологии также позволяют улучшить производство и использование материалов. Роботизация производства позволяют ускорить и упростить процесс строительства, а также повысить качество и надежность конечного продукта. Людям остается только наблюдать за процессом и правильностью выполнения всех работ, не делегируя машине ответственность за проектирование и слишком много дизайнерских решений.

Список использованных источников

1. Гинзбург, В. М. Проектирование информационных систем в строительстве. информационное обеспечение : учебное пособие / А. В. Гинзбург. — М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. — 368 с.

2. Добрицына И. А. От постмодернизма – к нелинейной архитектуре: Архитектура в контексте современной философии и науки. М.: Прогресс-Традиция, 2004. 416 с

3. Моделирование паркового пространства с использованием аддитивных технологий / Панин Д.Ю., Максименко Н.А., Максименко А.Е., в сборнике: инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее. Сборник тезисов участников международного студенческого строительного форума – 2022. Симферополь, 2022. С. 47-48.

4. Перцовский, М. И. Системы промышленной и лабораторной автоматизации: методы и средства построения // М. И. Перцовский // Мир компьютерной автоматизации. — 2000. — № 3. — С. 7–17.

5. Системы автоматизации проектирования в строительстве: учебное пособие / А. В. Гинзбург [и др.] ; под ред. А. В. Гинзбурга; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. —М. : МГСУ, 2014. — 664 с.

6. Эффективность применения 3d печати в строительстве / Карамзина Е.С., в сборнике: методология безопасности среды жизнедеятельности. Сборник научных трудов XVIII Международной научно-практической конференции. Симферополь, 2025. С. 117-121.

УДК 741.021: 378.09
14.35.09: Методика преподавания учебных дисциплин в высшей профессиональной школе

ИЗОБРАЗИТЕЛЬНЫЕ ДИСЦИПЛИНЫ В АРХИТЕКТУРНО-ДИЗАЙНЕРСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ

Мамугина Валентина Петровна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры «Дизайн»
mamugina@mail.ru

Киселева Вера Алексеевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Дизайн»
vera–kiseleva–1971@mail.ru

Никольский Михаил Викторович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат педагогических наук, профессор, зав. кафедрой «Дизайн»
timnik2004@rambler.ru

Новые подходы к образованию вносят изменения в методику преподавания дисциплин в высшей школе. В модернизации системы художественного образования, к сожалению, появились тенденции к отрицанию ряда положительных сторон содержания российской академической системы. Усиливается формалистический подход в изучении первооснов рисунка, живописи, скульптуры. Появляются сторонники, которые критикуют академическую школу, называя ее «консервативной» и предлагают продвигать «новую» эстетику. Это проявляется в пассивном подходе к изучению основ изображения, формализации в художественном творчестве и т.д. Не всегда на практике преобразования правильно понимаются.

Художественное образование в России, как известно, базируется на преемственности профессионального опыта поколений, эмоционально-ценностной культуре народа, академических принципах изображения. В системе преподавания изобразительных дисциплин в архитектурно-дизайнерской подготовке студентов вузе следует сохранять достижения российской академической школы, основывающейся в образовательной деятельности на сочетании научного и художественного методов познания.

Профессия архитектора, дизайнера объединяет в себе комплекс различных видов деятельности: конструктивной, изобретательской, проектировочной, изобразительной и др. Содержание и технологии организации архитектурно-дизайнерской подготовки постоянно совершенствуются. «Рисунок», «Живопись», «Скульптура» – дисциплины, входящие в обще профессиональную архитектурно-дизайнерскую подготовку. Уровень её эффективности зависит во многом от развитости у студентов объемно-пространственного и художественно-композиционного мышления.

Образовательный процесс следует выстраивать таким образом, чтобы логический и художественный компоненты мышления пронизывали весь цикл заданий, начиная от изображения отдельных форм и переходя к сложным пространственным композициям. Преподаватель должен осуществлять руководство поиском гармоничного их соотношения в ходе освоения тем дисциплин. В зависимости от постановки задачи может преобладать то логический, то художественный тип мышления. В обучении грамотности изображения преобладает логический компонент, выразительности – художественный [2].

По мере чувственного накопления данных в ходе восприятия, по мере увеличения понимания обрабатываемого сознанием материала и рассуждения под влиянием педагогических установок, формируется представление о натуре, и направляется процесс восприятия на достижение поставленной задачи. Чем сложнее изобразительная задача, тем обстоятельнее и глубже процесс восприятия [1].

Дисциплина «Рисунок» носит, с одной стороны, познавательный характер (анализ формы, конструктивных особенностей, пропорций, объема, средового пространства), с другой стороны, рисунок архитектора, дизайнера имеет прикладной характер, являясь частью графики специалиста.

В рисунке свои методы, средства, способы, приемы изображения. Дизайнер, архитектор в своей практической деятельности должен уметь выполнять наглядные изображения различных объектов. Рисунок, выполняемый от руки, на глаз, максимально передающий наглядную информацию об объекте, является частью рабочей документации архитектурно-дизайнерского проекта. В вузовской

изобразительной подготовке на занятиях по рисунку учат изображать формы так, как их воспринимает наше зрение, т.е. в наблюдательной перспективе. Изображения создаются на основе законов линейной и воздушной перспективы. Знания в области перспективы дают понимание научных основ рисунка и практического решения изобразительной задачи.

На основе анализа теории и практики обучения студентов рисунку в высшей школе и с учетом требований к подготовке предлагается в обучении акцентировать внимание на линейно-конструктивном построении форм. Мышление студентов направляется на познание и осмысление закономерностей формообразования предметов в пространственной среде. Понимание общности в строении многообразных объектов действительности, как форм, состоящих из комбинации геометрических тел и отличающихся друг от друга преимущественно пропорциями и расположением в пространстве, позволяет создавать изображения логически осмысленными и более качественными по изобразительному решению.

При данном подходе к изучению свойств реальной действительности и созданию изображений у студентов гармонично развиваются логический и художественный компоненты мышления. Это позволяет, по нашему мнению, обеспечить профессионально-ориентированный подход к преподаванию данной дисциплины и направить образовательный процесс от изобразительной познавательной деятельности в архитектурно-дизайнерскую познавательную деятельность.

Обучение линейно-конструктивному рисунку наиболее сложное. Проще создавать изображения, основывающиеся на передаче характера и пропорций видимых частей формы, а затем создавать объем с помощью тона. Такой рисунок является показателем уровня техничности и развития чувства пропорций. Понимание общности в формообразовании объектов окружающей действительности и умение передавать эту закономерность в изображении данный подход не обеспечивает в должной мере. Это обстоятельство является принципиальным для будущих специалистов, для которых познание и осмысление конструкции и структуры трехмерной формы в пространстве является стержнем учебно-творческой и профессиональной деятельности. В данном контексте понимания проблемы художественного образования линейно-конструктивный рисунок, по нашему мнению, позволяет эффективно формировать необходимое пространственное мышление [3].

Линейно-конструктивный рисунок предполагает сквозную прорисовку формы. Этот метод не просто учит передавать в рисунке внешнее сходство изображаемого и реального объекта, а способствует развитию видения формы и формированию навыков передачи на плоскости её внутреннего строения. Методики работы над конструкцией объектов действительности начинается от абстрактных геометрических форм и продолжается к постепенному усложнению форм. Линейно-конструктивное изображение рекомендуется выполнять с использованием сечений. Этому следует учить, начиная с абстрактных геометрических форм. Выполняя построение куба, цилиндра, шара и других простых форм на основе перспективы, рисующий делает ряд сечений, позволяющих раскрыть конструктивную основу объекта изображения. Количество сечений целесообразно выполнять не менее трех: одно горизонтальное и два вертикальных. Они также позволяют усилить пространственную характеристику объемной формы [4].

Сложные по конструкции формы, как известно, создаются на основе комбинаторики и пространственном структурировании абстрактных геометрических тел. Переходя от простого к сложному в методике подготовки будущих специалистов, от простых форм и неглубоких пространств, к сложным формам (голова, фигура человека) и глубоким пространствам, решается задача – изучение закономерностей построения форм в средовом пространстве.

В процессе обучения студентов рисунку каждое практическое занятие, связанное с отображением объемной формы на плоскости, предполагает оперирование и манипулирование пространственными образами. Мышление студентов направляется на познание и осмысление закономерностей формообразования предметов в пространственной среде. Понимание общности в строении многообразных объектов действительности, как форм, состоящих из комбинации геометрических тел и отличающихся друг от друга преимущественно пропорциями и расположением в пространстве, позволяет создавать изображения логически осмысленными и более качественными по художественному решению [2].

Работа над многоплановыми композициями по своей сути ничем не отличается от рисования предметных форм, здесь также требуется базовая сумма академических знаний и навыков. Изображение в них, как и в различных объектах предметного мира, основано на законах перспективного изображения простых геометрических объемов (куба, призм, цилиндра и др.). Так, например, интерьер, каким бы он ни был сложным, всегда приближен к этим объемам. Пол, потолок, стены – это плоскости куба, призмы, образующие замкнутое пространство. Практическое умение изображать геометрические формы в перспективе во многом помогает правильной передаче на плоскости внутреннего архитектурного пространства. Соблюдение законов передачи объема,

пропорций, перспективы, способствует формированию понимания у студентов взаимосвязь между собой объектов предметного мира и их взаимовлиянии на организацию материально-пространственной среды, что является одной из основных задач их профессиональной архитектурно-дизайнерской подготовки.

В практике обучения будущих архитекторов, дизайнеров первые задания должны быть наиболее аналитическими. Их цель – приучить студентов видеть в окружающем многообразии конструктивную основу, объёмность предметов. В дальнейшем, полученные умения и навыки, они смогут перенести в изображение более сложных форм. Методическая последовательность заданий, в преподавании рисунка, выстраивается по принципу постепенного усложнения материала, следуя логике познания материального пространства, с привлечением необходимых теоретических и практических знаний.

Обучение академическому рисунку является строгой научно-обоснованной системой. Это та база, на которую должны всегда опираться художественно-образовательные новации в высшей художественной школе.

Необходимым компонентов в изобразительной подготовке архитекторов, дизайнеров является изучение основ живописи.

Учебный курс «Живопись», как и «Рисунок», также базируется на научной основе. Он состоит из разделов: изобразительные средства и основы композиции, техника живописи, материалы и инструменты; основы композиционной работы в живописи, закономерности зрительных адаптаций и иллюзий; основные типы композиционных построений (плоскостное, объемное, пространственное); колористический образ в цветовой композиции, закономерности зрительных эмоций и ассоциаций, эмоциональная содержательность цветовых отношений.

Изобразительные средства и основы композиции, техника живописи, материалы и инструменты – необходимый теоретический и практический курс, закладывает базовые академические знания об основных средствах художественной выразительности, таких как цвет и краска. Студенты знакомятся с физической основой цвета, спектральным кругом и закономерностями комбинаторики цветовых сочетаний, основными цветовыми характеристиками, видами цветовых контрастов, психофизиологическими основами восприятия цвета. Практические занятия направлены на изучение закономерностей составления цветовой палитры (спектральная и земляная), методики и техники условной передачи видимых цветовых отношений натуры с возможностью использования цветовой фактуры.

Студентами изучаются основы композиционной работы в живописи, закономерности зрительных адаптаций и иллюзий. В практической деятельности выполняются основные типы композиционных построений: плоскостное, объемное, пространственное. Данный раздел позволяет формировать у обучающихся аконстантное видение натуры, благодаря различным подходам к цветовому решению изображения: плоскостное, объемное, пространственное. Плоскостной характер изображения знакомит будущих архитекторов, дизайнеров с основными приемами декоративной живописи. Объемный характер изображения предусматривает изучение локального и предметного цвета, светотеневых градаций в моделировке трехмерной формы. Пространственный характер изображения рассматривает изучение основ изображения трехмерной формы в пространственной среде, влияния освещения на цветовую трактовку формы изображаемых объектов, световоздушной и цветовой перспективы.

Освоение раздела, связанного с колористическим образом в цветовой композиции, закономерностями зрительных эмоций и ассоциаций, эмоциональной содержательность цветовых отношений, позволяет осуществить переход к образному решению живописного изображения в творческом воплощении на основе анализа живописных произведений и предшествующих знаний. Главная цель – переход от станковой живописи к архитектурному чертежу. Для этого и необходимы навыки передачи цвета и фактуры строительных и отделочных материалов, перспективного построения интерьера и экстерьера в цветовом решении.

В процессе изучения дисциплины «Живопись» студенты получают необходимые знания, умения и навыки, которые могут быть использованы в архитектурном проектировании при передаче цветового облика архитектурного сооружения, в работе над чертежом, в архитектурной графике.

Живопись – область, в которой сочетаются техническое мастерство, глубокие знания о цвете и форме, а также способность к эмоциональному и философскому осмыслению действительности. Несмотря на то, что живопись ассоциируется преимущественно с изобразительным искусством, ее значение в формировании профессиональных навыков архитектора или дизайнера трудно переоценить. Она не только развивает художественное мышление и чувство цвета, но и играет ключевую роль в овладении композицией, восприятием пространства, формы и света – основополагающими категориями архитектурной и дизайнерской практики.

Одной из важнейших задач, которую решает живопись в профессиональной подготовке архитекторов и дизайнеров, является формирование мышления. Специалисты данного профиля

работают, прежде всего, с формой, пространством, цветом и светом. Для того, чтобы грамотно их использовать, необходимо уметь видеть. Живопись обучает воспринимать объект не как совокупность деталей, а как целостный образ, улавливать главные визуальные характеристики и передавать их средствами цвета, света и тени. Такая тренировка глазомера и образного мышления крайне важна в проектной деятельности, где необходимо быстро схватывать и анализировать визуальные особенности пространства и формы, создавать убедительные презентации проектов.

Основное средство выразительности в живописи – это цвет, который также является и одним из главных инструментов в арсенале архитектора, дизайнера. От выбора цветовой гаммы зависит не только эстетика объекта, но и его эмоциональное воздействие на человека. Живопись позволяет глубоко изучить свойства цвета, его контрасты, гармонии, нюансы тепло-холодности, насыщенности и светлоты. Через практическую работу с красками студент постигает закономерности цветовых сочетаний, учится предвидеть их влияние на зрителя.

Кроме того, через живописную практику развивается чувство меры и гармонии, формируется умение использовать цвет как выразительное средство. Эти навыки незаменимы при разработке интерьеров, архитектурных фасадов, знаков визуальных коммуникаций и ландшафтных зон. Опыт живописных упражнений в процессе изучения поможет студентам в будущем принимать обоснованные художественные решения, опираясь не только на теоретические знания, но и на интуитивно развитое чувство цвета.

В эпоху цифровых технологий и 3D-визуализаций может показаться, что традиционные формы изобразительного искусства теряют актуальность. Однако практика показывает, что именно владение живописными навыками дает специалисту конкурентное преимущество. Современные архитектурные и дизайнерские проекты требуют качественной визуальной подачи — как на этапе презентации идеи, так и в процессе защиты проекта перед заказчиком. Здесь вступают в силу навыки, приобретенные на занятиях по живописи, точно и выразительно передавать: настроение, атмосферу, масштаб, характер материалов и освещения. Даже в условиях цифрового проектирования художественное понимание цвета позволяет создавать более убедительные и эстетически проработанные визуализации.

Особенностью предмета «Живопись» является то, что она связывает все элементы художественной подготовки в единое целое, интегрируя навыки и знания из других составных частей художественного обучения.

Рисунок дает основу понимания формы, пропорций, анатомии и перспективы. Без уверенного владения рисунком невозможно создать убедительное живописное изображение.

Композиция учит выстраивать структуру изображения, распределять акценты, организовывать пространство холста.

Цветоведение и светотеневая моделировка раскрывают принципы цветового взаимодействия, температурных отношений, влияния освещения на форму.

История искусства и анализ произведений живописи обогащают художественный кругозор и помогают осознанно подходить к собственной творческой задаче.

Технология живописных материалов позволяет понимать особенности пигментов, грунтов, связующих веществ, что важно для уверенного владения техникой и создания качественных работ.

Дисциплина «Живопись» в архитектурно-дизайнерском образовании направлена на формирование и развитие навыков, знаний и личностных качеств, необходимых для выполнения профессиональных задач. Выделим главные из них.

1. Формирование художественного и пространственного мышления:

- помогает будущим архитекторам и дизайнерам осваивать законы композиции, цвета, света и формы;
- развивает способность воспринимать и анализировать окружающее пространство с художественной точки зрения;
- учит выражать архитектурные и дизайнерские идеи через визуальные образы.

2. Развитие чувства цвета и понимания цветовых гармоний:

- обучает работе с цветом как выразительным средством;
- формирует умение использовать цвет для создания настроения, объёма, глубины и эмоционального воздействия;
- дает основы цветовой культуры, важной в дизайне интерьеров, фасадов, предметов и т.п.

3. Развитие наблюдательности и образного видения:

- приучает замечать нюансы цвета, формы, фактуры, соотношения тонов;
- способствует выработке зрительной памяти, необходимой для создания убедительных архитектурных и дизайнерских решений.

4. Овладение изобразительными средствами и техниками:

- формирует практические навыки работы с различными художественными материалами (акварель, гуашь, акрил, масло и др.);

- учит техникам передачи фактур, объемов, архитектурных форм и элементов среды,

- поддерживает умение быстро и грамотно визуализировать проектные идеи.

5. Развитие эстетического вкуса и визуальной культуры:

- помогает воспитывать чувство меры, ритма, пропорции;

- дает основу для осознанного эстетического выбора в профессиональной деятельности.

6. Подготовка к концептуальному мышлению и презентации проектов:

- тренирует умение передавать идею через визуальный образ, что особенно важно на ранних этапах проектирования;

- способствует созданию эффектных и убедительных презентационных материалов.

Теория живописи – это фундаментальная основа в художественной образовательной сфере. Без освоения ее базовых положений невозможно эффективное формирование практических умений и навыков. Она позволяет не только технично выполнять работы, но и наполнять их смыслом, создавать грамотные и выразительные работы. Изучение теории необходимо как начинающим, так и профессионалам для постоянного развития мастерства.

Теория живописи включает в себя совокупность знаний о цвете, его проявлении в цветовой среде, и законах его систематизации и гармонизации, лежащих в основе создания живописного произведения.

Цвет – это изобразительный язык живописи и ее главное выразительное средство, но традиционно знания о цвете рассматривает такая наука, как цветоведение. Поэтому, не случайно, что мы, прежде всего, обращаемся к законам цветоведения, таким как: природа цвета; цвет поверхности; основные характеристики цвета; цветовая систематизация; гармония и контрасты; цветовые ассоциации; символика цвета.

Это знания законов междисциплинарной области, связанные с физикой, биологией, психологией и искусствоведением. Их не надо использовать как готовые теоремы для решения практических живописных задач. Они лишь формируют базу, на которой легче и в более последовательной системе усваиваются умения и навыки.

Рассмотрение вопросов взаимодействия цвета и окружающей его среды относится к колористике. Законы колористики включают в себя такие понятия как: локальный и собственный цвет предмета; свет и тень; рефлекс; колорит; тепло-холодность; цветовые отношения; валер; световоздушная перспектива.

На знании этих законов выстраивается методика решения практических задач в живописи. Они усваиваются в результате выполнения различных учебных заданий и упражнений.

В изобразительный блок архитектурно-дизайнерской подготовки входит изучение основ скульптуры. Скульптура – вид изобразительного искусства главной особенностью которого является передача художественного образа через пластику объёмных форм. В процессе обучения по дисциплине «Скульптура» у студентов формируется: культура зрительного восприятия предметов и явлений окружающей действительности, понимание свойств скульптурных материалов и их возможностей. Развивается так же зрительная память и воображение. Она, как рисунок и живопись, учит студентов работать с формой, пропорциями, композицией. Развитие чувства формы, как известно, обязательно для становления профессиональных качеств и навыков студента.

Задачей курса является изучение законов пластического искусства и приобретение студентами навыков, необходимых для архитектурно-дизайнерского проектирования. В содержание входит выполнения практических заданий по рельефной и объемной лепке. В связи с этим работа над рельефными слепками играет важную роль. Она развивает пространственное мышление, объемное восприятие. Кроме того, в этом виде лепки студент осваивает работу с базовыми скульптурными материалами, техникой лепки. Создание объектов круглой скульптуры качественно более сложный уровень скульптурного мастерства. Это необходимо для последующей работы над образом человека в портрете и композиции.

Скульптура занимает значительное место в профессиональной подготовке выпускника. Она обладает большей наглядностью в передаче пространства, нежели рисунок и живопись, с иллюзорным изображением третьего измерения.

Учебный курс «Скульптура» включает три раздела: плоскость; объем; пространство.

Плоскость: понятие о взаимосвязи скульптурной и архитектурной формы. Данный раздел предполагает изучение всех видов рельефов, то есть ухода от абсолютной плоскости и использование их при создании архитектурной среды: в интерьерах, городских и парковых ситуациях. Наряду с этим изучаются единство законов формотворчества, принципов, формул и понятий, как в скульптуре, так и в архитектуре с единственным различием: в архитектуре всегда присутствует функциональность, а в скульптуре главенствующим понятием является образ.

Объем: виды пластического выражения и объемно-пространственного решения архитектурно-скульптурной среды. Изучение данного раздела связано с решением задач по освоению архитектурной среды, а именно, насыщением скульптурной пластикой: рельефной для стен и круглой для больших пространств интерьеров проектируемых зданий, установки монументальной и садово-парковой скульптуры на открытых пространствах (ландшафтных) и в городской среде в соответствии с требованиями и новыми зарождающими традициями скульптуры и архитектуры XXI века.

Пространство: методические основы рационального выбора скульптурной формы в сложившейся и проектируемой архитектурной среде. Важную роль играет ознакомление студентов с лучшими образцами скульптурно-архитектурных решений современности, усвоение ими законов гармонии, органичности связи скульптуры с архитектурой, соразмерности (масштабности) и соответствию новому времени при решении этих задач.

Таким образом, в процессе профессиональной подготовки архитектора и дизайнера важное место занимают изобразительные дисциплины. Средствами рисунка, живописи, скульптуры выполняется познавательная, воспитательная и эстетическая функции искусства. Через изобразительный блок дисциплин реализуется задача по гармоничному развитию необходимых для современного специалиста объемно-пространственного и художественно-композиционного компонентов мышления.

Список использованных источников

1. Кузин, В.С. Психология / В.С. Кузин. – М.: Высшая школа, 1982. – 256с.

2. Мамугина, В.П. О подготовке по рисунку студентов дизайнерских направлений /В.П. Мамугина // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: Материалы VIII-й международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта / ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет". – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2021. – С.86 -90.

3. Мамугина, В.П. Рисунок в высшей архитектурной школе /В.П. Мамугина // Вестник Тамбовского университета. Серия Гуманитарные науки. Тамбов, 2014 № 1 (129). С. 38-44.

4. Никольский, М.В., Мамугина, В.П. Форма в рисунке: изучение и изображение (web-формат) [Электронный ресурс. Мультимедиа]. Учебное пособие. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "ТГТУ",2020.

УДК 711.4

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПЕРИФЕРИЙНОГО ПОЯСА КРУПНЕЙШЕГО ПОЯСА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ

Марченко Влада Сергеевна
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», магистр кафедры Градостроительства
e-mail: vladamoor@mail.ru

Страшнова Юлия Геннадьевна,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры Градостроительства
e-mail: juli.07@bk.ru

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Удаленность периферийных районов крупнейшего города от центральной части обуславливает необходимость их обеспечения развитой системой общественного обслуживания и мест приложения труда с целью обеспечить комфортную территориальную доступность услуг и снизить посетительскую нагрузку на срединную и центральную зоны. Кроме того, особенностью общественных территорий периферийного пояса является обязательный учет потребности не только постоянного населения, но и разнообразных групп дневного населения, прибывающих из агломерации и других регионов страны.

Научная проблема заключается в несоответствии градостроительных подходов к формированию системы общественных территорий современным условиям использования, требующим учета взаимосвязи между планировочными особенностями и функционально-пространственной организацией.

Научная гипотеза: система общественных территорий периферийного пояса строится по иерархическому принципу под влиянием образующих их ТПУ, формирует многоуровневую структуру с разным набором функций и услуг, ориентированных на различные группы населения. Исследование направлено на выявление градостроительных подходов, определяющих функциональный характер и интенсивность развития территории.

Практическая значимость: оптимизация функционально-планировочной организации общественной инфраструктуры на основе планировочных сегментов территории с учетом транспортной доступности и плотности застройки позволит сформировать сбалансированную полицентрическую планировочную структуру периферийного пояса.

Данное исследование анализирует структуру общественных территорий, выявляет закономерности их территориального размещения и факторы, влияющие на ее формирование в контексте развития периферии. Особое внимание уделяется идентификации ключевых функциональных зон и пространственных элементов, формирующих каркас общественной инфраструктуры, а также оценке их соответствия потребностям населения.

Концепция общественно-деловых субцентров [1], предусматривающая развитие полицентрической структуры города [2] позволяет снизить время в пути для горожан, однако требует развитой транспортной инфраструктуры. Эффективность транзитно-ориентированного проектирования периферийных зон [3] повышается при условии транспортного планирования и обоснованного землепользования [4]. Показателен пример концепции «Нового элемента расселения» [5], теория ступенчатой системы обслуживания, лежащая в основе многоуровневой организации общественных услуг [6].

Актуальна типология услуг с учетом социальной значимости: — базовые услуги (торговля, бытовой сервис, общественное питание), социально обязательные (образование, здравоохранение) и личностно осознаваемые (культура, физическая культура, дополнительное образование, социальная защита) [7].

Современные исследования указывают на характерную проблему окраин — дефицит общественной инфраструктуры при избытке жилья: зарубежный опыт исследования поясов городских окраин систематизирован в источнике [8]. Вопросы формирования системы транспортно-пересадочных узлов в агломерациях раскрыты в источнике [9]. Институт Генплана Москвы предложил методический подход к прогнозированию пассажирских потоков при градостроительном проектировании скоростных видов транспорта [10].

Пространственная организация общественных территорий в зоне влияний ТПУ формируется под воздействием следующих факторов: посещаемость (объем пассажиропотока, численность дневного населения), транспортная доступность, функциональная насыщенность. Их взаимосвязь определяет

качество городской среды и эффективность использования территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты анализа определяющих факторов и их параметров для пространственной организации общественных территорий [11] представлены в таблице 1.

Таблица 1

Факторы пространственной организации территории

Группы факторов	Факторы
Планировочные	местоположение, площадь территории, плотность застройки
Функциональные	функции общественной застройки тип застройки, взаимодействие с застройкой, функциональное использование территории и застройки
Транспортные	вид транспорта (автобусы, троллейбусы, трамваи, метро, МЦК, МЦД, ЖД, личный транспорт), пассажиропоток, пассажирообмен,
Социально-демографические	места приложения труда, дневное население, в т.ч. временное и постоянное население
Архитектурные	доминантный акцент, благоустройство территории
	Параметры факторов
Планировочные	удаленность от центра (периферия/центр), территориальные границы (га), застроенность территории (тыс.кв.м./га)
Функциональные	баланс функционального использования территории (%),взаимосвязь общественного центра со сложившейся планировкой (да/нет), баланс использования территории (%),баланс застройки (%)
Социально-демографические	количество рабочих мест на прилегающих территориях (кол.чел.), распределения групп населения по разным уровням потребностей (кол.чел.)

Факторный анализ показал, что пространственная организация общественных территорий достигается за счет сочетания транспортной доступности, функционального разнообразия, количественной обеспеченности дневного населения социальной инфраструктурой, привлекательного архитектурно-ландшафтного облика. Для оптимизации использования общественных территорий предлагается развивать их как единую планировочную систему, объединяющую три уровня – местный, региональный, агломерационный. Основой выступает типология ТПУ (Рисунок 1).

Общественные территории местного уровня располагаются в узлах внутреннего транспортного каркаса на основе элементов планировочной структуры, представляют собой единую систему общественных пространств и объектов общественного назначения. Данные территории в большей степени ориентированы на запросы постоянного населения.

Общественные территории регионального уровня представлены в основном объектами периодического спроса административной, социальной и общественно-деловой инфраструктуры. Функциональное наполнение обеспечивают услуги периодического и эпизодического спроса. Данные территории отвечают в большей степени на запросы дневного населения.

Общественные территории агломерационного уровня формируются на основе крупнейших ТПУ, имеют максимальную посетительскую нагрузку. Функциональное наполнение застройки состоит из объектов, отвечающих за услуги эпизодического спроса административной, социальной и общественно-деловой инфраструктуры.

Для оценки градостроительной организации общественных территорий необходимо сформировать перечень основных показателей: пространственных, функциональных и планировочных. Совокупность показателей позволит получить комплексное представление о функционально-планировочной структуре общественных территорий и их градостроительном потенциале (Таблица 2). В таблице 3 представлено функциональное наполнение общественных территорий.

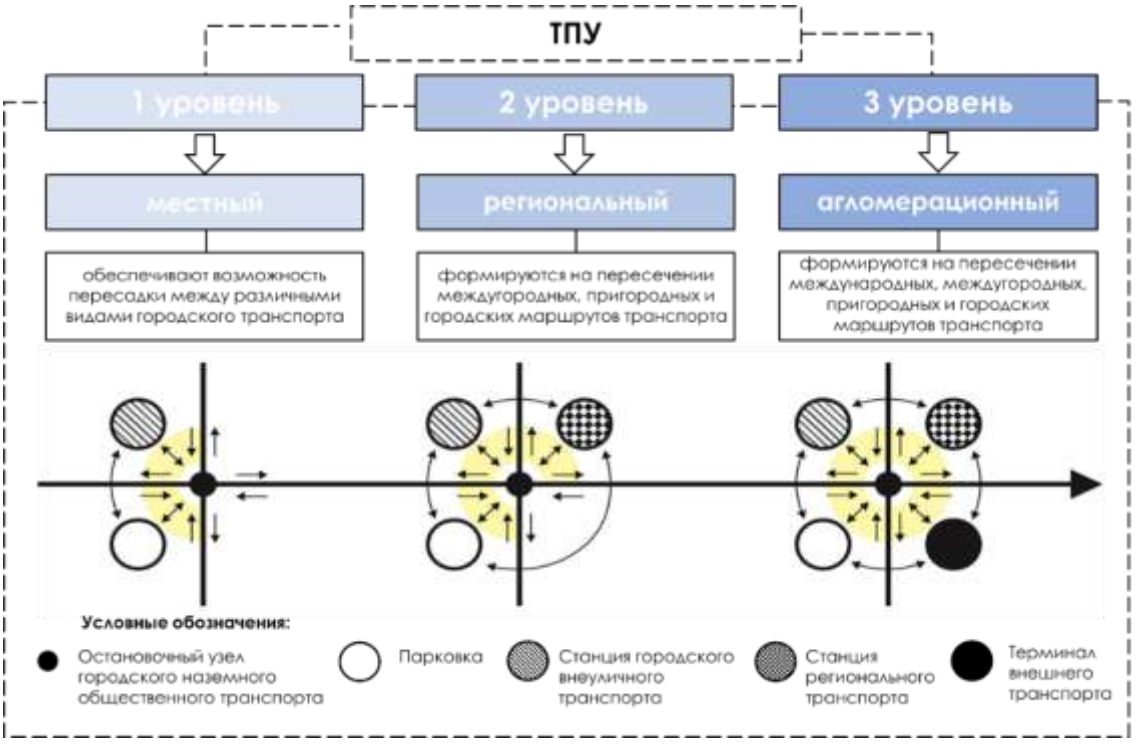


Рисунок 1 – Типология транспортно-пересадочных узлов крупнейшего города.

Таблица 2

Основные технико-экономические показатели общественных территорий

		Общественные территории		
		Местный	Региональный	Агломерационный
Показатель	Значение			
Радиус доступности	м	300-500	500-1500	1500-5000
Площадь территории	га	1-10	10-35	35+
СПП	тыс.кв.м	5-20	20-200	200+
Плотность	тыс.кв.м/га	0,4-5,0	5,0-10,0	10,0+

Таблица 3

Функциональное наполнение общественных территорий

		Общественные территории		
		Местный	Региональный	Агломерационный
Показатель	Значение			
Транспортная инфраструктура				
Плотность УДС	км/кв.м	1,25-2,5	2,5-3,5	3,5-5,0
Жилая функция				
Жилая застройка	%	10-15	20-35	30-40
Общественная функция				
Торгово-бытовая	%	3-15	10-15	15-25
Административно-деловая		3-15	10-15	15-25
Культурно-досуговая		5-10	10-15	15-25
Образовательная		5-10	10-15	15-25
Спортивная		5-10	10-15	15-25
Рекреация				
Благоустройство	%	20-25	25-30	30-40

Иерархия общественных территорий в зависимости от их пространственного масштаба, планировочной структуры и функциональной роли отображена на схеме условного планировочного района (Рисунок 2). Данная схема позволила отобразить различия в размещении территорий местного, регионального и агломерационного уровней, а также выявить, как меняется характер общественной активности, плотность транспортной инфраструктуры, функциональный состав на каждом уровне.

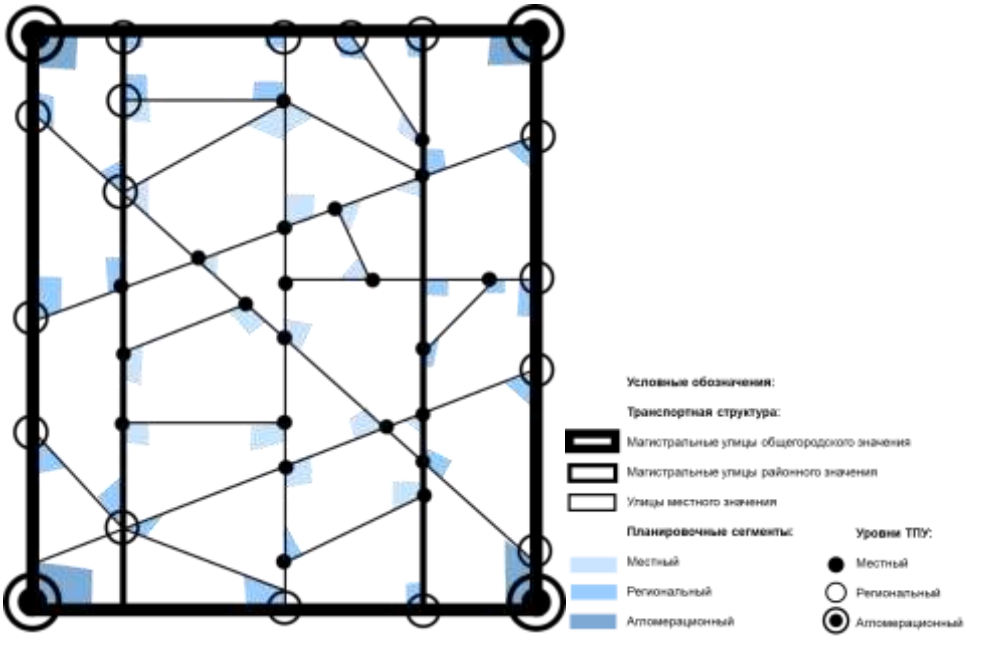
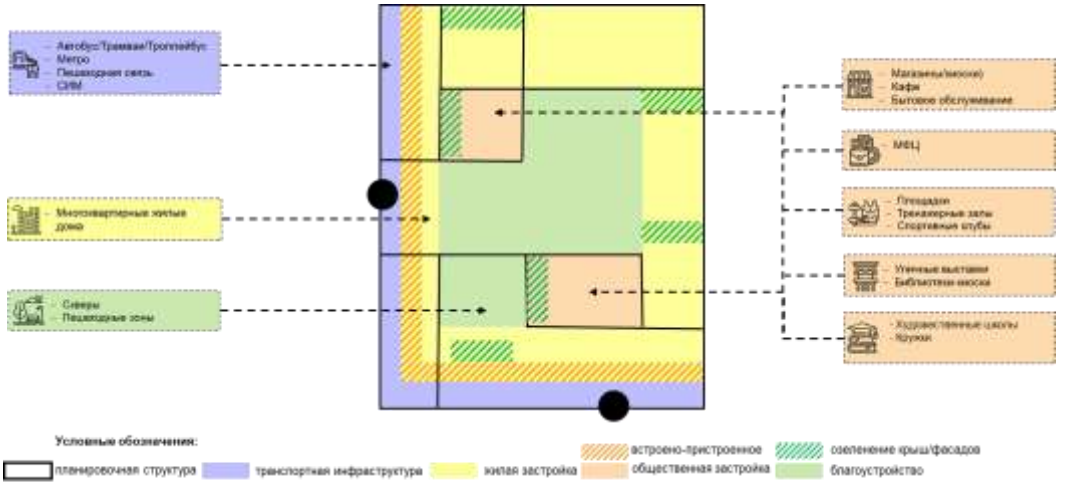


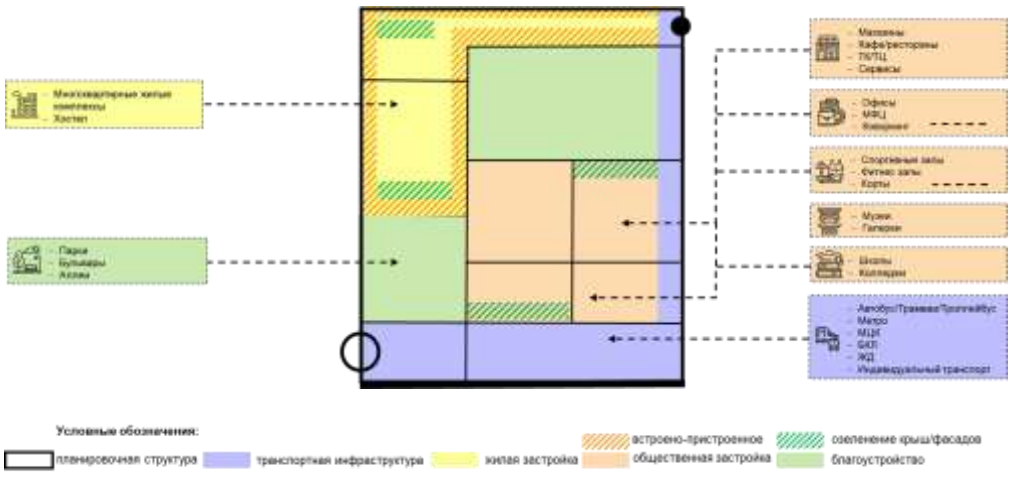
Рисунок 2 – Планировочная схема общественных территорий условного планировочного района.

На следующем этапе работы выбраны 3 фрагмента условного планировочного района для детализации и проверки на уровне конкретных планировочных ситуаций (Рисунок 3 а,б,в).

а)



б)



в)

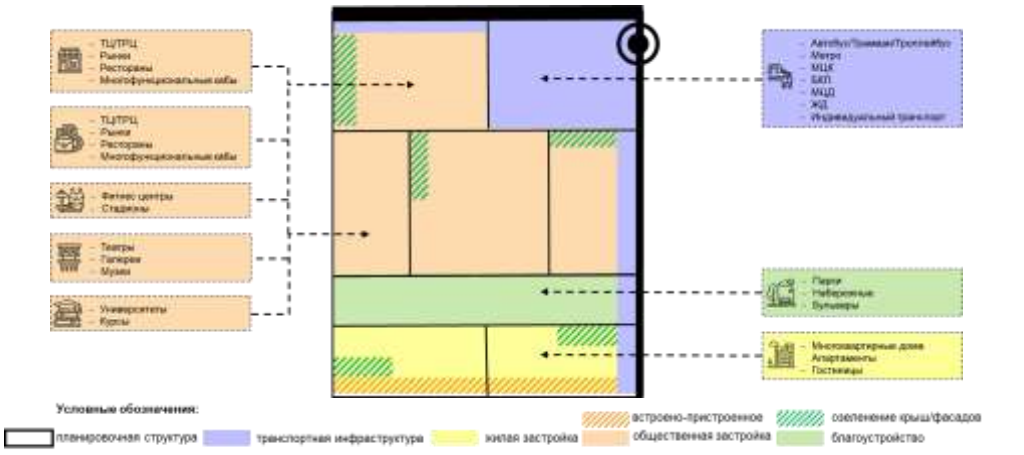


Рисунок 3 – Функциональная характеристика общественных территорий: а) местного уровня; б) регионального уровня; в) агломерационного уровня

На фрагментах показано функциональное наполнение территорий, определены какие виды общественного, транспортного, жилого и рекреационного назначения могут быть размещены с учетом уровня территории. Данный подход позволил перейти от общей модели к более предметному анализу, выявить типовые сочетания функций и показать, как общественные территории формируются во взаимосвязи с транспортной инфраструктурой, жилой застройкой и природным каркасом. Данные фрагменты являются частью планировочного сегмента, поэтому каждый планировочный сегмент может включать типы общественных территорий различного уровня.

Детальное рассмотрение всех функций на каждом уровне помогает связать планировочную ситуацию территории с характером общественной активности и определить, какие функции должны быть доминирующими, сопутствующими и резервными.

Характеристика градостроительных подходов к развитию общественных территорий основывается на комплексном анализе ранее упомянутых параметров территории: планировочном, пространственном и функциональном. Комплексный подход предполагает рассмотрение общественных территорий как единой системы. Функционально-планировочный подход ориентирован на рациональное размещение различных видов использовании территории с учетом ее планировочного и пространственного каркаса. Транспортный подход предусматривает увязку объектов с узлами транспортной инфраструктуры путем организации пешеходных связей. Планировочный подход направлен на формирование комфортной, безопасной и визуально привлекательной городской среды.

Сформированы градостроительные подходы к функционально-планировочной организации общественных территорий периферийного пояса:

- планировочные - эффективное использование общественных территорий и прилегающих территорий в зоне влияния ТПУ за счет многоуровневой структуры, использование подземных этажей и

эксплуатируемых крыш для размещения транспортных и общественных функций; соблюдение рекомендуемых показателей баланса жилой и общественной застройки в зависимости от планировочной ситуации, транспортной доступности и плотности населения; функционально-планировочная организация системы общественных территорий представляет собой многоуровневую структуру территорий, формирующихся с учетом различным составом пользователей;
- функциональные - усиление роли общественной функции за счет расширения видов услуг;
- социологические - услуги общественных территорий ориентированы под нужды групп дневного населения;
- экологические - усиление экологического каркаса за счет интеграции элементов озеленения и водных объектов в благоустройство общественных территорий; доля озеленения общественных территорий прямо пропорционально их уровню; интенсивность использования территории.

Для апробации градостроительных подходов выбрана территория, которая располагается в периферийном поясе Северного административного округа Москвы. В основе выбора лежит ее пространственная обособленность. Она «отрезана» от прилегающей территории с северо-востока железной дорогой, с юго-востока бывшим малым кольцом железной дороги (ныне московским центральным кольцом - МЦК), с юго-запада каналом имени Москвы (частью Химкинского водохранилища), с северо-запада московской кольцевой автомобильной дорогой (МКАД). Преимущества данной территории: хорошая транспортная доступность, высокий уровень благоустройства, развитая система услуг социальной инфраструктуры повседневного и периодического спроса. К недостаткам данной территории можно отнести: слабо развитую систему услуг эпизодического спроса, неравномерное распределение общественных территорий в планировочной структуре, напряженная экологическая ситуация, обусловленная наличием производственных зон.

Площадь рассматриваемой территории составляет – 2 206 га. Население составляет порядка 300 тысяч человек, что соответствует населению крупного города.

В ходе исследования рассматриваемая территория поделена на планировочные сегменты с учетом улично-дорожной сети и других планировочных делителей. Территория разделилась на 32 планировочных сегмента, которым присвоен уровень: 20 сегментов – местного уровня; 9 сегментов – регионального уровня; 3 сегмента – агломерационного уровня. В их составе выделены существующие общественные территории разных уровней (Рисунок 4).

Для определения предпосылок развития системы общественных территорий учтено существующее состояние территории планировочных сегментов, транспортной инфраструктуры (в части пассажиропотока), функциональной структуры общественных территорий, потребность объектов социальной инфраструктуры для разных групп населения, потенциал развития общественных территорий, уровень озеленения общественных территорий.

Для более детального анализа качества социальной инфраструктуры произведена ее дифференциация на 3 группы потребностей: базовые, общепринятые, потребности, отвечающие за культурное и духовное развитие (Рисунок 4).

На рисунке 4 показаны схемы пространственного деления территории на сегменты, система ТПУ и УДС, типология объектов социальной инфраструктуры. Схемы подготовлены в программе QGIS.

Выполнен расчет по планировочным сегментам: планировочные показатели территории, показатели транспортной и социальной инфраструктуры. В таблице 4 показаны основные технико-экономические показатели планировочных сегментов (общие данные). Все расчеты произведены в программе Excel при помощи ГИС-данных. В таблице 5 показаны основные технико-экономические показатели планировочных сегментов (социальная инфраструктура). Все расчеты произведены в программе Excel при помощи ГИС-данных. В таблице 6 отображены основные технико-экономические показатели планировочных сегментов (транспортной инфраструктура). Все расчеты произведены на основе Методического подхода к прогнозированию пассажирских потоков [10], в программе Excel при помощи ГИС-данных.

Расчеты проводились по формулам:

Количество пассажиров, выезжающих из района вычисляется по формуле (1).

$$Q_{oi} = h_i \times N_i \text{ , (1)}$$

где i – один из районов города Москвы; Q_oi – количество пассажиров, выезжающих из района со всеми целями с использованием различных видов транспорта, тыс.чел.; h_i – доля населения, выезжающего из района (процент выезда) в утренний час пик на всех видах транспорта, % N_i – численность населения района, тыс.чел.

Пешеходный поток вычисляется по формуле (2).

$$N = Q_{\text{ж}} \times k_{\text{ж}} \times k_{\text{э}} \times k_{\text{пп}} \times k_1, \text{ (2)}$$

где Q_ж – численность населения в жилой застройке на территории, тыс.чел.; k_ж – доля

трудозанятого населения района, ед.; k_э – коэффициент, отражающий долю трудозанятого населения (принимается 0,57); k_пп – коэффициент, отражающий количество населения, передвигающегося пешком (принимается 0,1); k_1 – численность работающих на объектах, расположенных на территории района (МПТ), тыс.чел.

Пешеходный поток, формируемый пассажирами, прибывающими на территорию, вычисляется по формуле (3).

$$N_з = Q_{нт} \times k_{пик} \times k_з, \quad (3)$$

где Q_нт – количество пассажиров, прибывающих к НПТ и МПТ; k_пик – коэффициент, отражающий количество населения, передвигающего пешком (принимается 1,34); k_з – доля пешеходного потока рассматриваемой группы.

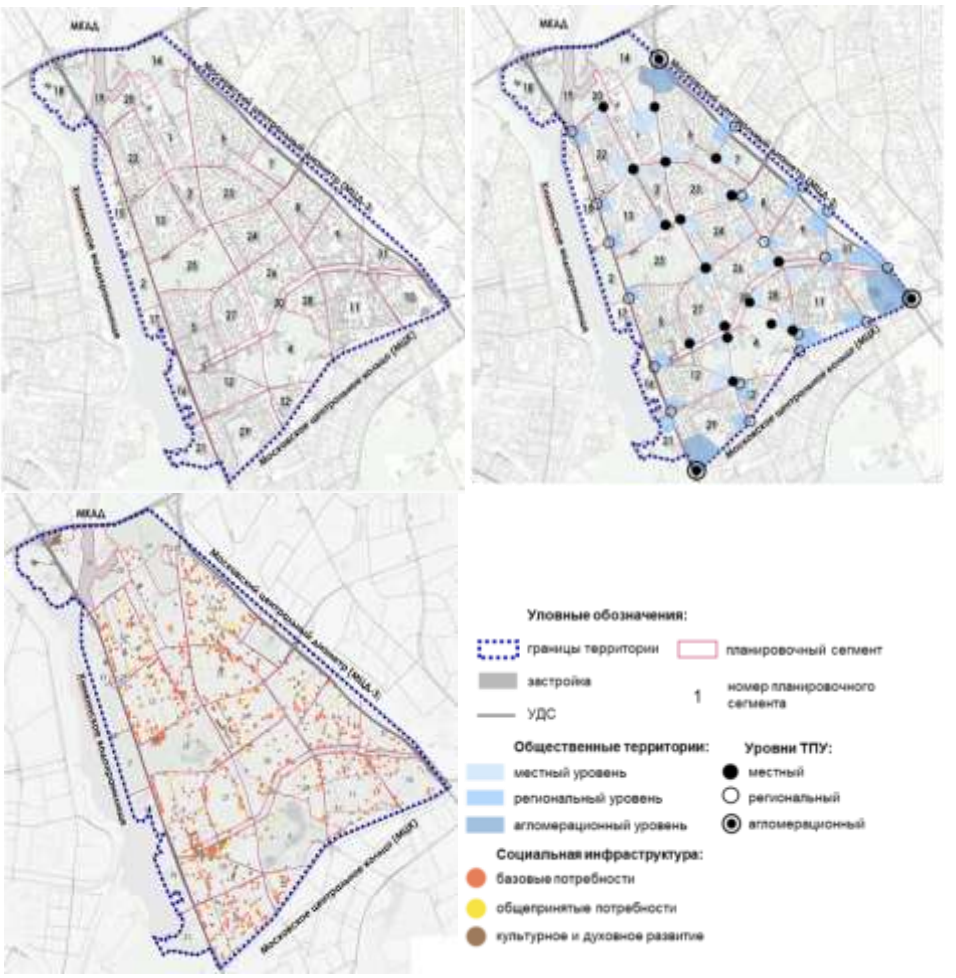


Рисунок 4 – Аналитические схемы рассматриваемой территории

Таблица 4

Основные технико-экономические показатели планировочных сегментов (общие данные)

Общие данные ТЭП планировочных сегментов						
№ сегмента	Площадь участка, га	Плотность участка, тыс.кв.м/га	Суммарно поэтажная площадь застройки, тыс.кв.м			Население, тыс.чел.
			Всего	Жилье	Нежилье	
6	159,84	11,41	1824,02	1336,60	487,43	49,38
11	116,35	4,34	505,47	114,48	390,99	5,55
24	76,86	17,11	1314,70	513,80	800,90	18,81

Таблица 5

Основные технико-экономические показатели планировочных сегментов (социальная инфраструктура)

ТЭП социальной инфраструктуры планировочных сегментов						
№ сегмента	Площадь участка, га	Плотность, тыс.кв.м/га	Суммарная поэтажная площадь застройки, тыс.кв.м			
			Всего	Базовые потребности	Общепринятые потребности	Культурно и духовное развитие
6	159,84	3,05	487,43	367,69	113,69	6,05
11	116,35	3,36	390,99	322,09	68,29	0,61
24	76,86	10,42	800,90	715,37	58,01	27,52

Таблица 6

Основные технико-экономические показатели планировочных сегментов (транспортная инфраструктура)

ТЭП транспортной инфраструктуры планировочных сегментов						
№ сегмента	МПТ, тыс.мест	Дефицит МПТ, тыс.мест	Количество выезжающих, тыс.чел.			
			Всего	СВТ	НГПТ	ИНД
6	3,04	0,87	25,72	8,93	4,80	11,99
11	5,70	-1,19	3,54	-	1,01	2,53
24	9,99	-0,13	21,05	-	6,01	15,03

Проведенный анализ позволил выявить взаимосвязь между площадью территории и плотностью застройки, соответствие типа сегмента его функциональному наполнению, уровень обеспеченности объектами социальной инфраструктуры, уровень транспортной доступности и связанности сегментов, дефицитные и избыточные функции в структуре общественных территорий. Выявленные технико-экономические показатели позволили продемонстрировать закономерности развития территории и обосновать проектные решения по ее функционально-планировочной организации. В результате определены территории для апробирования градостроительных подходов к формированию территорий местного, регионального и агломерационного уровня.

Разработаны модели формирования общественных территорий в зависимости от расположения в планировочной структуре (Рис.5,6,7). Для апробирования взяты три сегмента: местного, регионального, агломерационного уровня.

На местном уровне проектный сценарий ориентирован на формирование общественных территорий повседневного пользования, обеспечивающий доступ к базовым потребностям постоянного населения. Приоритет отдается планировочному подходу, предусматривающему компактную организацию пространства, включение общественных территорий в структуру жилой застройки, использование подземного пространства. Функциональный подход заключается в размещение общественных объектов в первых этажах, а также в отдельно стоящих зданиях. Социологический подход учитывает потребности различных возрастных групп постоянного населения. Экологический подход заключается в благоустройстве территории, использовании вертикального озеленения (крыши жилых и общественных зданий), что снижает негативное воздействие на территорию от транспортной инфраструктуры (Рисунок 5).

На региональном уровне сценарий предусматривает формирование общественных территорий с функционально насыщенной инфраструктурой, обеспечивающей как постоянное, так и временное население. Это выражается в организации более выраженного общественного ядра. Функциональный подход предусматривает сочетание видов социальных объектов, предусмотренных для данного уровня. Социологический подход учитывает цель посещения, разные сценарии пребывания: транзит, отдых, культурно-бытовые и трудовые цели. Экологический подход заключается в благоустройстве

территории, создании озелененных общественных пространств для более длительного времени пребывания (Рисунок 6).

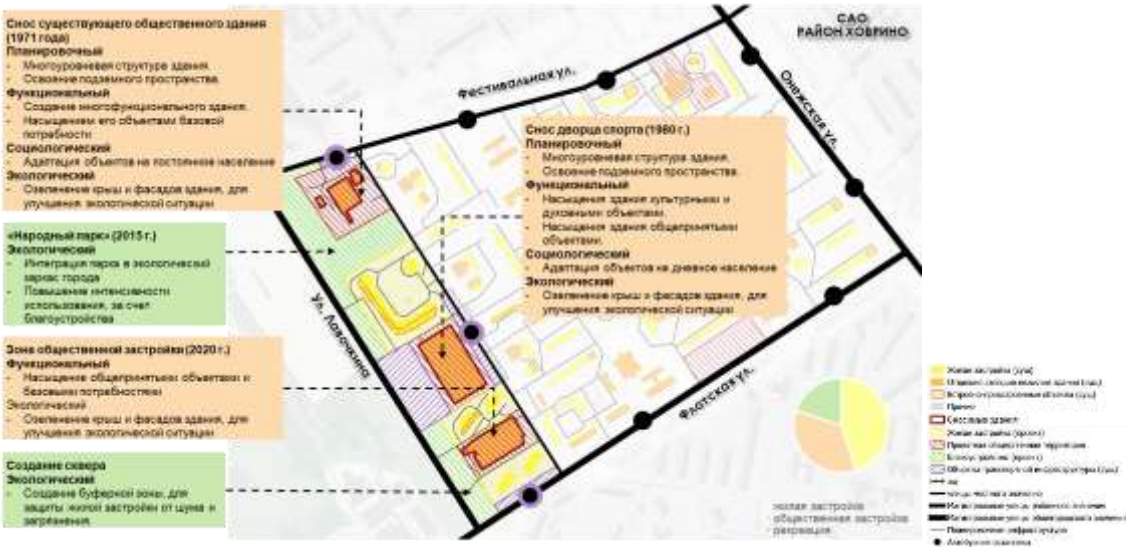


Рисунок 5 – Схема применения градостроительных подходов к функционально-планировочной организации общественных территорий на местном уровне

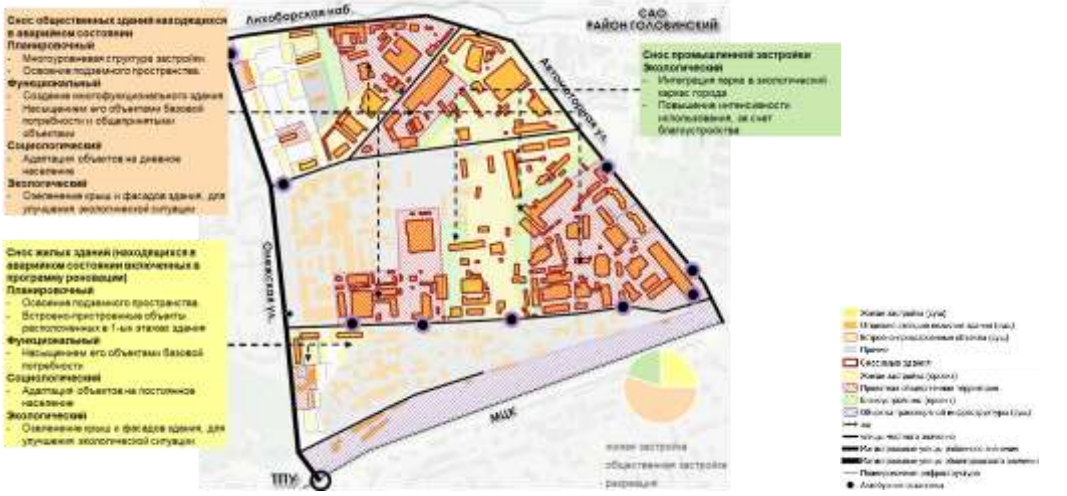


Рисунок 6 – Схема применения градостроительных подходов к функционально-планировочной организации общественных территорий на региональном уровне

Агломерационный уровень общественных территорий обладает максимальным функциональным насыщением, ориентирован на временные группы дневного населения. Планировочный подход заключается в организации сложной иерархической организованной структуры, создании непрерывного общественного пространства. Функциональный подход: доминируют учреждения, предоставляющие услуги эпизодического спроса. Социологический подход учитывает потребности временных групп дневного населения, ориентирован на высокую гибкость и универсальность пространства. Экологический подход заключается в высокой степени озеленения путем создания надземных территорий, использования всех форм озеленения, формирования буферных зон, (в том числе установке шумозащитных экранов и др.), так как данные территории больше всего подвержены антропогенной нагрузке (Рисунок 7).

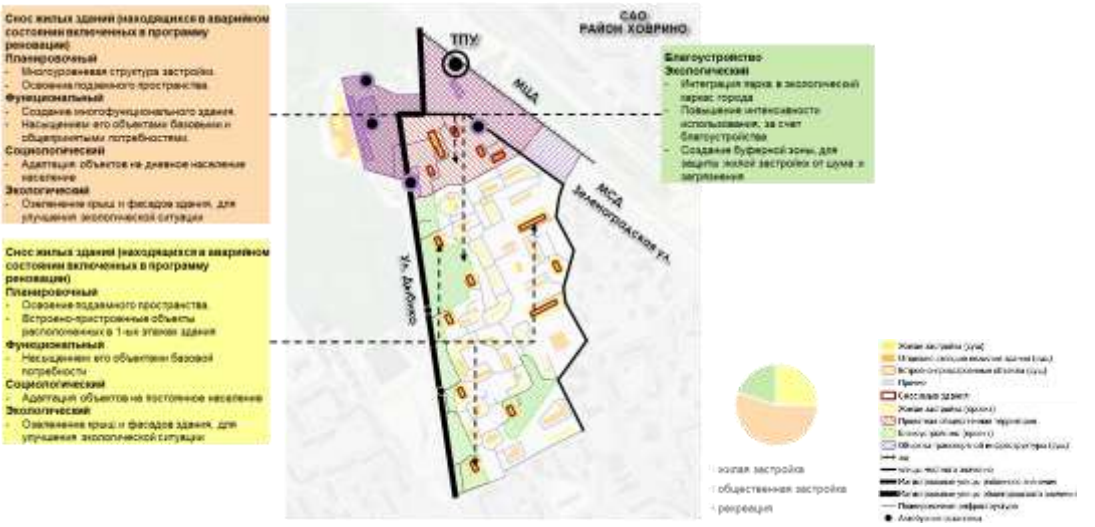


Рисунок 7 – Схема применения градостроительных подходов к функционально-планировочной организации общественных территорий на агломерационном уровне.

Градостроительные подходы к функционально-планировочной организации общественных территорий, разработанные в исследовании, успешно применены на примере фрагмента периферийной части территории Северного административного округа города Москвы. Практическая ценность исследования подтверждается уникальной ролью общественных территорий, как важнейшего элемента городского каркаса, формирующего основу его полицентрической планировочной организации, обеспечивающей пространственную и социальную связанность города.

Список использованных источников

1. Harris C.D., Ullman E.L. The Nature of Cities. The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science, 1945, no. 242, pp. 7—17

2. Gordon P., Richardson H.W. Beyond Polycentricity: The Dispersed Metropolis, Los Angeles, 1970-1990 // Journal of the American Planning Association. 1996. Vol. 62. No. 3. P. 289-295.

3. Cervero R. The Transit Metropolis: A Global Inquiry. Washington, DC: Island Press, 1998. 464 p.

4. Pojani D., Stead D. Sustainable Urban Transport in the Developing World: Beyond Megacities // Sustainability. 2015. Vol. 7. No. 6. P. 7784-7805. DOI: 10.3390/su7067784

5. Гутнов А., Лежава И. Некоторые предпосылки формирования перспективной системы расселения // Город и время / Научно-исследовательский институт теории, истории и перспективных проблем советской архитектуры (Москва); Институт основных проблем пространственной планировки (Варшава). --- Москва : Стройиздат, 1973. --- 302 с.

6. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. Стройиздат. Москва. 1984

7. Страшнова Ю.Г. Социокультурные комплексы: новая парадигма развития общественной территории крупнейшего городского поселения // Инновации и инвестиции. Вып. №1. 2026, С. 512-515.

8. Логунова Е.Н. Феномен городских окраинных поясов (на примере исследований в зарубежных странах) // Статья. 2018. Вып. 1. Режим доступа: https://marhi.ru/AMIT/2018/4kvart18/PDF/25_logunova.pdf.

9. Д.Н. Власов «Приоритетные направления развития системы транспортно-пересадочных узлов агломерации» [Электронный ресурс] – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prioritetnye-napravleniya-razvitiya-sistemy-transportnoperesadochnyh-uzlov-aglomeratsii?ysclid=mo4ubgcu5g884866544

10. Крестмейн М.Г., Бахирев И.А., Сигаева Т.В., Панкина О.В., Бочкарева Ю.В., Васильев О.В., Овчинников С.В., Иванова Н.А., Боровик Е.Н. и др. Методический подход к прогнозированию пассажирских потоков при градостроительном проектировании скоростного внеуличного транспорта --- Москва, ГАУ «Институт Генплана Москвы», 2023.

11. Алексеев, Ю. В. Совершенствование системы образовательной и научно-проектной деятельности на базе методологии пространственной организации поселений / Ю. В. Алексеев. - (Архитектура зданий и сооружений. Градостроительство). - Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. - 2016. - № 4. - С. 23-29. - Библиогр.: с. 29 (6 назв.). - ISSN 0869-7019.

УДК 725.8
67.07.11: Национальные особенности архитектуры

АРХИТЕКТУРНЫЕ АРХЕТИПЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОВ ПОМОРСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Матвеенко Алексей Дмитриевич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», аспирант
e-mail: aleksispam@mail.ru

Введение

Актуальность исследования определяется двумя параллельными процессами. С одной стороны, в современной архитектурной теории наблюдается устойчивый интерес к архетипическим основаниям формообразования, позволяющим преодолеть разрыв между глобализированной универсальностью и региональной самобытностью. С другой стороны, поморская культура, сформировавшаяся в суровых условиях Русского Севера и Арктики, сегодня нуждается в новых форматах презентации и актуализации своего наследия. Проектирование центров поморской культуры становится не просто инфраструктурной задачей, но и формой символического утверждения идентичности северных территорий.

Поморская архитектура представляет собой уникальное сочетание утилитарной функциональности и глубинной семантической насыщенности. В традиционных постройках — от жилого дома-пятистенка до шатрового храма — закодированы архаические представления о мироустройстве, адаптированные к специфике прибрежного ландшафта Белого и Баренцева морей. Эти пространственные коды могут быть осмыслены именно как архитектурные архетипы, то есть устойчивые, воспроизводимые из поколения в поколение модели пространственной организации, обладающие одновременно формообразующим и смысловым потенциалом.

Как отмечает А. Ф. Еремеева, проектирование туристских центров в условиях Крайнего Севера требует системного подхода, основанного на тщательном анализе культурного ландшафта, климатических условий и исторических особенностей территории. Эта идея получила развитие в её исследовании перспектив развития туристических центров в составе туристско-рекреационного кластера на полуострове Таймыр [1]. Применение кластерного подхода, по мнению автора, позволяет более эффективно решать задачи сохранения и трансляции культурного наследия коренных народов Севера, что в равной степени применимо и к поморской культуре.

Целью настоящей работы является выявление и систематизация архитектурных архетипов поморской культуры и обоснование их использования в качестве концептуальной основы для проектирования современных центров поморской культуры.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- Систематизировать теоретические подходы к понятию «архитектурный архетип» и определить его рабочее определение для данного исследования.
- Выявить ключевые архитектурные архетипы, характерные для традиционного поморского культурного ландшафта.
- Разработать принципы архетипического проектирования центра поморской культуры как синтеза функциональных, семиотических и средовых характеристик.
- Предложить обобщённую концептуальную модель такого центра.

Методология исследования опирается на комплексный анализ научной литературы по теории архитектурных архетипов, историко-культурным исследованиям Поморья, а также на метод семиотического анализа архитектурной формы и метод средового проектирования.

Архитектурный архетип: понятия и теоретические модели

Понятие «архетип» пришло в теорию архитектуры из аналитической психологии К. Г. Юнга, где архетипы трактуются как универсальные врождённые психические структуры, составляющие содержание коллективного бессознательного. Применительно к архитектуре архетип стал пониматься как первичная пространственная схема, обладающая вневременным символическим значением и способная к бесконечным вариативным воплощениям в зависимости от исторического, культурного и природного контекста.

В современной науке сложилось несколько подходов к классификации архитектурных архетипов. Осыченко Г. А., опираясь на интегральную теорию К. Уилбера, выделяет четыре класса архетипов: биологические, психологические, культурные и социальные, подчёркивая изоморфность микрокосма (человек) и макрокосма (среда), что объясняет явление архитектурных архетипов с антропологической точки зрения [2]. Такой подход важен для нас, поскольку поморская архитектура исторически

формировалась как механизм адаптации человека к экстремальным природным условиям, и её архетипы неразрывно связаны с телесным, психологическим и культурным опытом северного жителя.

Павленко В. В., Свердленко В. С. и Суховерхов А. В. предлагают историко-мировоззренческую типологию, согласно которой всё многообразие архитектурных форм может быть сведено к трём макроархетипам: архитектура числовой гармонии, бионическая архитектура и архитектура деконструктивизма, соответствующие различным «духам времени» и философским парадигмам [3]. Для нашего исследования продуктивнее использовать не историко-стилистическую, а структурно-семантическую модель архетипа, т. е. рассматривать его не в диахронической последовательности смены стилей, а как устойчивый пространственный паттерн, воспроизводящийся в разных исторических формах.

Мухин А. С. акцентирует семиотический аспект архетипа: архитектурные формы, будучи нефигуративными по своей природе, обретают способность нести смысл благодаря архетипам коллективного бессознательного, которые лежат в основе символических категорий и позволяют инстинктивно считывать значения архитектурного пространства [4]. Именно этот семиотический потенциал архетипа оказывается ключевым при проектировании объектов, призванных стать «знаками» культуры, каковыми являются центры региональной идентичности.

Синтезируя рассмотренные подходы, сформулируем рабочее определение: архитектурный архетип — это устойчивая пространственная модель (структура, форма, тип организации среды), обладающая символической значимостью и выполняющая функцию первичного «генетического кода» архитектурного формообразования, способного к адаптации в различных культурных, исторических и природных контекстах.

Культурный ландшафт Поморья как система архитектурных архетипов

Поморье — историко-культурная область на побережье Белого и Баренцева морей, заселённая русскоязычным населением с XII века. Поморская культура представляет собой русский вариант арктической морской культуры, сформировавшийся в процессе адаптации к экстремальным природным условиям и морским промыслам [5]. Пространственно-архитектурная организация этой культуры базируется на нескольких фундаментальных архетипах, представленных в таблице 1, которые были выявлены при анализе традиционного поселения.

Архетип «Дом-корабль». Традиционный поморский дом-пятистенок представляет собой единый вытянутый объём, объединяющий жилую и хозяйственную части под общей крышей. Композиционно он состоит из двух смежных равных помещений — избы и горницы, разделённых сенями [5]. Такая линейно-осевая структура типологически близка кораблю, что не случайно: деревянное судостроение и домостроение на Севере были тесно связаны, а многие конструктивные приёмы — рубка «в обло», использование шкантов — перешли из одной сферы в другую. Архетип «Дом-корабль» воплощает идею движения, странствия, покорения стихии — ключевую для поморской ментальности.

Архетип «Храм-маяк». Культовая архитектура Поморья выполняла двойную функцию: сакральную и навигационную. Поморские храмы и обетные кресты не только организовывали духовное пространство, но и служили важнейшими ориентирами для мореплавателей, будучи нанесёнными на лоцманские карты [6]. Шатровые завершения церквей — устремлённые вверх восьмерики на четвериках — создавали вертикальный акцент, видимый с моря на большом расстоянии. Этот архетип соединяет духовное и утилитарное, образуя вертикаль, вокруг которой организуется не только конкретное поселение, но и весь культурный ландшафт побережья. Храм-маяк маркирует сакральный центр мира и одновременно — навигационную точку в реальном географическом пространстве.

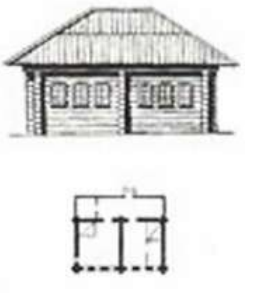
Архетип «Крест-знак». Отдельный архетипический феномен — поморские обетные и поклонные кресты, которые устанавливались на берегу в качестве навигационных знаков, обетов или памяти о погибших. В данной традиции минимальная архитектурная форма — вертикальный ствол с перекладиной — обретает предельно насыщенное семиотическое значение, становясь одновременно знаком веры, знаком места и знаком памяти. Крест-знак архетипически восходит к представлению об axis mundi — мировой оси, соединяющей небесное, земное и подводное (хтоническое) царства.

Архетип «Северный погост». Храмовый ансамбль поморского села (так называемый «тройник» — летняя церковь, зимняя церковь и колокольня) образовывал сакральный центр поселения [7]. Пространственно он формировал иерархическую систему доминант, которая структурировала всю видимую среду. В суровом северном ландшафте, практически лишённом природных вертикалей (лес низкорослый, рельеф равнинный), такие ансамбли становились главными архитектурными акцентами, олицетворяя победу культуры над хаосом стихии.

Архетип «Берег — море». Поморское поселение всегда развёрнуто к воде: дома обращены лицом к морю, а не к суше, причалы и амбары для лодок выступают неотъемлемой частью жилой среды. Отношения между освоенным, «своим» пространством берега и бескрайним, «чужим» пространством моря являются ключевым архетипическим противопоставлением, организующим всю пространственную структуру поморского культурного ландшафта.

Таблица 1

Ключевые архитектурные архетипы поморской культуры

Архетип	Исторический прототип	Объемное исполнение	Семиотическое значение
«Дом-корабль»	Поморский дом-пятистенок (изба + горница + сени)		Путь, странствие, убежище, покорение стихии, микромодель судна на суше
«Храм-маяк»	Деревянные шатровые храмы на побережье		Духовный ориентир, навигационный знак, axis mundi (ось мира), связь небесного и земного
«Крест-знак»	Поморские обетные и поклонные кресты, путные кресты		Знак памяти, обета и границы; пространственный маркер; оберег; символ связи прошлого и настоящего
«Северный погост»	Храмовый ансамбль-«тройник»		Сакральный центр, «градообразующий» ансамбль, доминанта в равнинном ландшафте, образ «небесного града»
«Берег — море»	Планировка поморских деревень		Граница миров, диалог стихий, связь с промыслом, выход в «большой мир», постоянное взаимодействие с водной средой.

При проектировании центра поморской культуры эта оппозиция должна быть осмыслена архитектурными средствами — как диалог между интерьером и экстерьером, замкнутым и открытым, защищённым и распахнутым.

Принципы архетипического проектирования культурного центра

Проектирование центра поморской культуры на основе архитектурных архетипов требует не буквального воспроизведения исторических форм (метод «архитектурной цитаты»), а выявления их структурного принципа и перевода на язык современной архитектуры. На основе проведённого анализа предлагаются следующие принципы:

Принцип формирования семиотической архитектуры. Центр поморской культуры трактуется как целостная система знаков и символов, передающих социальные и культурные смыслы, уходящие корнями в глубину истории. Выявленные архетипы «Храм-маяк», «Крест-знак», «Дом-корабль» и «Северный погост» выступают в роли базовых семиотических единиц, каждая из которых обладает устойчивым значением — навигационный ориентир, память, путь, сакральный центр. При проектировании эти архетипические смыслы транслируются через архитектурную форму, масштаб, ориентацию в пространстве и визуальные связи, превращая здание в читаемый текст, понятный как местному сообществу, так и приезжающим.

Принцип преемственности. Воспроизведение традиционной поморской культуры осуществляется через современный архитектурный язык, наследующий структурные и пространственные принципы традиции. Архетип выступает как посредник между прошлым и настоящим: его абстрактная пространственная модель (линейная ось «Дома-корабля», вертикальная доминанта «Храма-маяка», иерархическая группа «Северного погоста») переосмысливается в актуальных конструктивных системах, материалах и объёмно-планировочных решениях. Такой подход обеспечивает живую, развивающуюся, а не музейную форму культурной идентичности.

Принцип полифункциональности. Архитектурный архетип поморской культуры исторически соединял в себе множество функций: дом был и жилищем, и хозяйственной единицей, и символическим «кораблём»; храм — местом моления и навигационным маяком; крест — знаком веры, памяти и пространственным ориентиром. Следуя этой традиции смысловой и утилитарной нерасчленённости, современный центр должен сочетать коммуникативную, образовательную и просветительскую функции. Пространственная структура, основанная на архетипических схемах, создаёт условия для гибкого функционального зонирования, при котором выставочные залы, мастерские, лектории и общественные пространства не изолированы, а образуют взаимопроникающую среду, побуждающую к познанию, общению и сотворчеству.

Принцип средовой интеграции. Проектируемый объект не должен становиться чужеродным телом в сложившемся культурном ландшафте. Принцип требует адаптивности к природным условиям побережья — учёта береговой линии, розы ветров, особенностей рельефа и визуальных бассейнов — и включённости в исторический контекст поморского поселения. Архетипическая оппозиция «Берег — море» задаёт логику раскрытия и защиты пространств, ориентацию главных фасадов и пешеходных связей. Новый центр продолжает и развивает исторически сформированные визуальные оси, не конкурируя, а вступая в диалог с существующими архитектурными доминантами — храмами, крестами, традиционной жилой застройкой, — тем самым укрепляя целостность всего архитектурно-ландшафтного ансамбля Поморья.

Концептуальная модель центра поморской культуры

При проектировании центра поморской культуры не существует единственно верной объёмно-планировочной схемы. Опора на архетипы открывает веер возможных архитектурных решений, каждое из которых актуализирует разные грани культурного кода. Задача проектировщика — опираясь на результаты предпроектного анализа конкретного места, выбрать те стратегии, которые наиболее полно раскроют идентичность территории и обеспечат жизнеспособность центра. Ниже систематизированы возможные подходы, от более универсальных к частным.

Размещение центра и его взаимодействие с поселением и акваторией могут решаться несколькими принципиально разными способами, выбор которых определяется ландшафтной ситуацией и рисунком расселения.

– *Компактное ядро на узловой точке.* Исторически поморские погосты возникали на мысах, в устьях рек или на перекрёстках водных и сухопутных путей. Следуя этой логике, центр может занять аналогичную ключевую позицию, выступая визуальной и функциональной доминантой для куста поселений. В этом случае здание и прилегающая площадь формируют общественный форум, который, подобно прицерковному пространству в прошлом, становится местом сбора, обрядовых действий и торговли, одновременно работая как «ворота» на воду.

– *Включение в существующую ткань.* В ситуации плотной исторической застройки уместна

стратегия деликатной интеграции: центр решается как несколько камерных объёмов, вписанных в уличный фронт и масштаб среды. Визуальная доминантность при этом может достигаться не высотным акцентом, а пластической или колористической выразительностью, а также световым сценарием в ночное время.

– *Рассредоточенный ансамбль вдоль берега.* Если ландшафт диктует сохранение панорамы, центр может быть разбит на ряд павильонов, нанизанных на пешеходный променад. Такая композиция наследует архетипическую линейность «Дома-корабля», но переводит её в градостроительный масштаб, а архетип «Северный погост» при этом прочитывается в иерархии объёмов, где один или два акцента (например, выставочный павильон и башня-маяк) доминируют над остальными.

Во всех случаях важно организовать главное открытое пространство (площадь, амфитеатр, набережную) с ориентацией на акваторию, обеспечив не только визуальную, но и физическую доступность воды.

Функциональная программа центра по своей природе гибридна, и планировка может варьироваться от монообъёма до сложной системы взаимосвязанных пространств.

Модель «дом-двор» (крытый атриум). Следуя архетипу поморского кошеля, под одной кровлей или в едином остеклённом объёме объединяются все основные зоны: мастерские, экспозиция, кафе, лекторий. Такой приём создаёт защищённое от непогоды круглогодичное общественное ядро. Планировка может быть как центричной (атриум в центре), так и линейной (пассаж, соединяющий сушу и море), с расположением помещений по обе стороны от крытой улицы.

Модель «гибкий зал + пристройки». Универсальное полифункциональное ядро (трансформируемый зал для выставок, собраний, спектаклей) окружается поясом мастерских, коворкингов и образовательных аудиторий. Такая схема удобна для малых поселений, где количество мероприятий не требует множества специализированных залов, а возможность переформатирования пространства становится ключевой.

Модель «событийная деревня». Комплекс решается как совокупность отдельно стоящих построек (срубов или современных павильонов), каждая из которых несёт определённую функцию: дом ремёсел, дом поморской кухни, выставочный амбар, гостевой дом. Между ними формируются открытые и полуоткрытые пространства — мостки, галереи с навесами, дворы-ловушки, отсылающие к поморским тоням и рыболовецким станам. Этот сценарий максимально активирует архетип «Крест-знак» через систему навигационных стел и малых архитектурных форм, связывающих постройки в единый нарративный маршрут.

При любой планировочной схеме важно предусмотреть пространства с разной степенью открытости и приватности, а также «гибридные» зоны неформального общения, повторяющие функцию исторических мест встречи промышленников и торговцев.

Практическим подтверждением продуктивности такого подхода служат результаты исследования А. Ф. Еремеевой, разработавшей системный подход к формированию архитектурных решений туристических центров в малых городах и поселениях севера Архангельской области [11]. На основе историко-культурного и ландшафтно-визуального анализа сёл Нёнокса и Ворзогоры автором предложена методика предпроектного анализа, учитывающая идентификацию места и локальный архитектурный контекст. Особую ценность представляет выполненная Еремеевой типология традиционных поморских домов — «брусом», «глаголем» и «кошелем», — и варианты их адаптации к современной архитектуре туризма. Эта работа демонстрирует, каким образом архетипические пространственные модели, выявленные в настоящем исследовании, могут быть переведены на язык актуальных объёмно-планировочных и конструктивных решений, сохраняя при этом генетическую связь с традицией и обеспечивая гармоничное включение новых объектов в культурный ландшафт Поморья.

Выбор объёмно-пространственной концепции определяется тем, какой из архетипов берётся за ведущий в данном контексте.

Доминанта «Дом-корабль». Основной корпус получает протяжённый линейный силуэт с динамичным перепадом высот; кровля может быть решена как эксплуатируемая палуба с видовыми точками. При этом вертикальный акцент либо отсутствует, либо сведён к минимуму (небольшая рубка-маячок). Пластика фасадов может развивать тему морского корпуса за счёт обтекаемых форм, горизонтального членения и наклонённых наружу стен, но может оставаться и сдержанно-геометричной, используя лишь ритмический строй окон и обшивки.

Доминанта «Храм-маяк». Композиция строится вокруг выраженного вертикального объёма (башни), вбирающего в себя смотровую площадку, медиафасад или навигационный световой элемент. Горизонтальные корпуса при этом играют подчинённую роль и могут быть заглублены или распластаны по рельефу, чтобы не ослаблять доминанту. Силуэт башни может отсылать к шатровым храмам, обетным крестам или современным маячным конструкциям, интерпретируя эти прототипы в актуальной тектонике.

Ансамблевый подход (аллюзия на «Северный погост»). Архитектурная группа из двух-трёх разновысоких объёмов, каждый со своей функцией, формирует живописный силуэт, перекликающийся с

традиционными «тройниками». Вертикальный элемент при этом может быть, как отдельно стоящей звонницей-инсталляцией, так и акцентной частью одного из корпусов. Важно, чтобы композиция читалась с основных точек восприятия — с воды и со стороны поселения — и вступала в диалог с существующими историческими доминантами.

Во всех случаях рекомендуется избегать необоснованной гигантомании, сохраняя соразмерность человеку и масштабу традиционной поморской застройки.

Материальная палитра и деталировка — главные носители семиотической и тактильной памяти места. Здесь проектировщик располагает наибольшей свободой интерпретации.

Дерево и его современные технологии. Древесина может использоваться в самых разных воплощениях: от дикого сруба или «подтоварника» в камерных ремесленных павильонах до клеёного бруса и перекрёстно-сшитых панелей в крупных пролётах. Обшивка фасадов интерпретирует традиционные приёмы (доска «в разбежку», вертикальный гонт, лемех) как в натуральном цвете, так и в современной тонировке. Возможен и обратный ход — использование минеральных материалов, имитирующих фактуру выветренного дерева или корабельной обшивки.

Семиотика «Креста-знака». Малые архитектурные формы, элементы навигации, ограждения, фонари и входные порталы могут быть решены как современная интерпретация поморского креста: лаконичная вертикаль с перекладиной, не обязательно культовая, но узнаваемая по силуэту. При этом степень стилизации может варьироваться от почти прямой цитаты до абстрактной графической схемы, считываемой на контрасте с окружением.

Климатическая адаптация. Рекомендуется предусмотреть следующие приёмы: развитые свесы кровель для защиты стен от косого дождя и снега; двухслойные вентилируемые фасады или перфорированные экраны с мотивами традиционной резьбы; применение массивных теплонакопительных элементов (каменные или глинобитные ядра) в интерьерах; открытые козырьки и галереи, создающие буферные зоны между улицей и помещением. Большие остеклённые поверхности целесообразно ориентировать на южные сектора и акваторию, в то время как глухие торцы или наклонные стены могут быть обращены к господствующим ветрам, повторяя логику поморского жилища.

Выбор конкретных приёмов из каждой группы должен опираться на тщательный анализ градостроительной ситуации, ландшафтных условий, доминирующих архетипов места, а также на функциональное задание и ожидания сообщества. Только в этом случае центр поморской культуры станет не абстрактным знаком, а живым пространством, аккумулирующим и передающим культурный код Поморья.

Заключение

Проведённое исследование показало, что архитектурные архетипы поморской культуры представляют собой не музейные «слепки» ушедшей эпохи, а действующие семантические и формообразующие коды, которые могут быть актуализированы в современном архитектурном проектировании. Архетипический подход позволяет не имитировать старину, а создавать подлинно современную архитектуру, обладающую глубокой культурной укоренённостью.

Предложенная концептуальная модель центра поморской культуры, основанная на архетипах «Дом-корабль», «Храм-маяк», «Крест-знак», «Северный погост» и «Берег — море», носит универсальный характер и может быть адаптирована к конкретным градостроительным, ландшафтным и функциональным условиям различных поселений Поморья. Дальнейшие исследования в этом направлении могут быть связаны с детализацией методики архетипического проектирования, включая разработку параметрических моделей, учитывающих вариативность архетипических схем, а также с апробацией предложенной модели в реальном проектировании для конкретных поморских населённых пунктов.

Список использованных источников

1. Еремеева, А. Ф. Перспективы развития туристических центров в составе туристско-рекреационного кластера на полуострове Таймыр / А. Ф. Еремеева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 39 (486). — С. 19-22. — URL: https://moluch.ru/archive/486/106256/ (дата обращения: 28.04.2026).

2. Осыченко Г. А. Классификация архитектурных архетипов // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. № 1. С. 15–19.

3. Павленко В. В., Свердленко В. С., Суховерхов А. В. Архитектурные архетипы: от гармонии числа к деконструктивизму // CyberLeninka. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturnye-arhetipy-ot-garmonii-chisla-k-dekonstruktsii (дата обращения: 28.04.2026).

4. Мухин А. С. Архетип в семиотическом поле символических категорий // Исторические,

философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов: Грамота, 2013. № 11-2. С. 63-65.

5. Пермиловская А. Б. Культовая традиционная архитектура как фактор адаптивного механизма при освоении Русской Арктики // Вестник антропологии. 2023. № 2. С. 7–21.

6. Пермиловская А. Б. Культурное пространство русской Арктики // CyberLeninka. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kulturnoe-prostranstvo-russkiy-arktiki (дата обращения: 28.04.2026).

7. Хараборкина (Медведева) Е. В. и др. Системный подход к формированию архитектурных решений туристических центров в малых городах и поселениях севера Архангельской области // Российская строительная газета. 2024. № ... (дата обращения: 28.04.2026).

8. Правда Севера. «В Архангельской области создают центр поморской морской культуры» // URL: https://pravdasevera.ru/2025/07/22/687f420aebdc1c5a2202dfd3.html (дата обращения: 28.04.2026).

9. И. Бартнев, Б. Федоров. Архитектурные памятники русского Севера. URL: https://www.booksite.ru/fulltext/arhitektura/index.htm (дата обращения: 28.04.2026).

10. Культурные ландшафты Поморья // Институт Лаверовских чтений. URL: https://uran.rasla.ru/node/6087 (дата обращения: 28.04.2026).

11. Еремеева, А. Ф. Перспективы формирования туристических центров в малых городах и поселениях севера Архангельской области / А. Ф. Еремеева. — Текст : непосредственный // Градостроительство и архитектура. — 2025. — Т. 15, № 3. — С. 122–131. — DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.16.

УДК 711.43:004.94
67.25.25 Благоустройство населенных мест. Зеленое строительство

ИНТЕГРАЦИЯ ГИС-АНАЛИТИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРИ ОБОСНОВАНИИ КОНЦЕПЦИЙ БЛАГОУСТРОЙСТВА ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ

Прокшиц Екатерина Евгеньевна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кандидат технических наук, старший преподаватель
e-mail: e.prokshits@mail.ru

Белова Виктория Павловна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», магистрант
e-mail: belova.viktoia@yandex.ru

Статья посвящена разработке подхода к проектированию и управлению открытыми городскими пространствами на основе интеграции геоинформационных систем и технологий цифровых двойников в контексте концепции «умного города». Обоснована необходимость перехода от традиционных методов к данным-ориентированным и предиктивным моделям, учитывающим комплекс факторов городской среды. Рассматриваются возможности цифровых двойников как инструмента мониторинга, анализа и поддержки принятия решений, а также их интеграция с современными средствами визуализации и сбора данных. В ходе исследования разработан методический алгоритм обоснования концепций благоустройства открытых пространств локального масштаба (1–15 га), включающий этапы сбора и нормализации данных, построения параметрической модели, сценарного моделирования, многокритериальной оценки и верификации результатов. Полученные результаты могут быть использованы при планировании, проектировании и управлении развитием городских территорий с целью повышения их устойчивости, функциональности и качества жизни населения.

Ключевые слова: цифровой двойник, ГИС-аналитика, благоустройство открытых территорий, «умный город», методический алгоритм, обоснование проектных решений.

Введение

Современный этап развития городов характеризуется стремительным ростом требований к качеству городской среды. Открытые городские пространства – парки, скверы, набережные, пешеходные зоны – играют ключевую роль в формировании комфортной, экологичной и социально ориентированной урбанистической среды. Они становятся не только местами отдыха и рекреации, но и

важнейшими элементами социальной интеграции, улучшения общественного здоровья и повышения привлекательности городов.

Однако традиционные подходы к разработке концепций благоустройства открытых пространств все чаще демонстрируют свою ограниченность. Проектные решения, основанные преимущественно на интуиции, статичных двухмерных материалах, не позволяют в полной мере учитывать сложные пространственные взаимосвязи, динамику использования территории, микроклиматические особенности, пешеходные потоки и долгосрочные экологические последствия принимаемых решений. В результате многие реализованные проекты благоустройства не достигают ожидаемого социального и экологического эффекта, а иногда вступают в противоречие с реальными потребностями жителей.

В последние годы значительный импульс развитию градостроительства и ландшафтной архитектуры придали цифровые технологии. Особое место среди них занимают **геоинформационные системы (ГИС)** и **технологии цифровых двойников (Digital Twins)**. ГИС-аналитика предоставляет мощный инструментарий для многокритериального пространственного анализа территории, а цифровые двойники позволяют создать динамическую, многомерную и приближенную к реальности виртуальную копию городского объекта, способную работать в режиме реального времени.

Цифровой двойник представляет собой интегрированную виртуальную модель физической системы, выступающую ее цифровым аналогом и функционирующую в режиме, близком к реальному времени. Он реализуется на основе данных и моделирующих инструментов и используется для прогнозирования, оптимизации, мониторинга, управления и повышения обоснованности принимаемых решений [1].

Интеграция ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников существенно расширяет возможности обоснования решений в сфере благоустройства. Вместо традиционного статичного «проектирования на бумаге» появляется подход, основанный на прогнозировании, сценарном анализе и доказательной базе. В рамках этого подхода каждое проектное решение можно заранее проверить в виртуальной среде, учитывая широкий спектр взаимосвязанных факторов – от инсоляции и ветровых условий до плотности пешеходных потоков и восприятия пространства жителями.

Актуальность данного исследования связана с потребностью в формировании научно обоснованной методологии разработки и применения интегрированных ГИС- и цифровых двойников для обоснования концепций благоустройства открытых городских пространств в условиях перехода к модели «умного» и устойчивого развития городов.

Цель статьи заключается в раскрытии теоретических и практических аспектов интеграции ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников для повышения качества и обоснованности проектных решений в сфере благоустройства открытых пространств.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Проанализировать современные возможности ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников в контексте градостроительного проектирования;
2. Определить архитектуру и принципы интеграции ГИС и цифровых двойников применительно к открытым городским пространствам;
3. Предложить методический алгоритм обоснования концепций благоустройства;
4. Рассмотреть практические примеры и оценить эффективность предлагаемого подхода.

Современные возможности ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников в градостроительном проектировании

В последние годы геоинформационные системы (ГИС) и технологии цифровых двойников (Digital Twins) существенно трансформировали подходы к градостроительному проектированию, перейдя от статичных карт к динамичным, предиктивным и иммерсивным инструментам принятия решений.

Геоинформационные системы являются мощным инструментом сбора, хранения, обработки, анализа и визуализации пространственно-координированных данных. Современные геоинформационные системы трансформировались из инструментов статического картографирования в платформы пространственного интеллекта, обеспечивающие комплексный анализ территориальных данных с учётом временной динамики и мультифакторных зависимостей.

Ключевым свойством ГИС-аналитики является способность интегрировать разнообразные типы данных – от геодезических съемок до статистики населения и метеорологических наблюдений – в единую пространственную модель. Это создает основу для принятия обоснованных решений, учитывающих многочисленные аспекты городского развития. Важным аспектом является также масштабируемость и возможность обновления данных в режиме реального времени, что обеспечивает актуальность аналитических выводов [1].

В контексте благоустройства открытых пространств ГИС-аналитика позволяет решать широкий спектр задач, таких как:

1. Пространственный анализ территории (оверлейный анализ, буферные зоны, сетевой анализ);
2. Анализ пешеходной и транспортной доступности;
3. Моделирование видимости;
4. Оценка инсоляции и затенения;
5. Анализ тепловых островов и микроклиматических характеристик;
6. Выявление территорий с высоким рекреационным потенциалом и проблемных зон;
7. Многокритериальный анализ пригодности территории.

ГИС-аналитика особенно эффективна на предпроектной стадии:

1. Выявление реальных проблемных зон (низкая посещаемость, перегрев, шум, слабая связность).
2. Оценка существующих и потенциальных пешеходных/рекреационных потоков.
3. Моделирование сценариев («что если»): добавление зелени, водных объектов, малых архитектурных форм, изменение функционального зонирования.
4. Экологическая оценка проекта (влияние на сток поверхностных вод, биоразнообразие).
5. Подготовка материалов для общественных обсуждений (интерактивные карты, 3D-визуализации).

Среди наиболее востребованных платформ в России и мире можно выделить ArcGIS (Esri), QGIS, MapInfo, а также отечественные разработки – «Геокад», «NextGIS», «Цифровая Земля» и др. ГИС сегодня активно используется для моделирования жилищного строительства, оптимизации транспортных систем, оценки воздействия на окружающую среду [2].

Концепция «умного города» трактуется как комплексное цифровое представление городской системы на протяжении всего ее жизненного цикла, которое постоянно актуализируется за счет данных реального времени. Эти данные могут дополняться семантической информацией и служить основой для различных видов анализа, включая оценку освещенности, энергопотребления, моделирование транспортных потоков, а также использование методов машинного обучения для поддержки управленческих решений.

Цифровой двойник города (Urban Digital Twin) представляет собой динамическую виртуальную копию городской среды, которая синхронизируется с реальным объектом в реальном времени или близко к нему. В отличие от статичных 3D-моделей, полноценный цифровой двойник обладает двунаправленной связью с физическим городом. Пример цифровой двойник города на рисунке 1 [4].

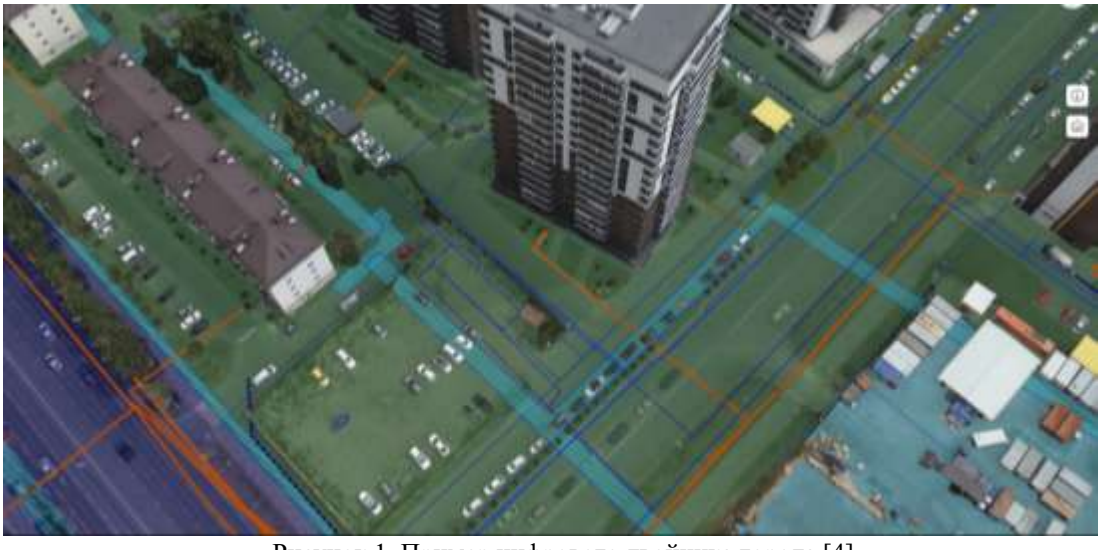


Рисунок 1. Пример цифрового двойника города [4].

Для построения цифровых двойников городов используется широкий спектр данных, поступающих из самых разных источников. Эти данные охватывают как физические параметры городской инфраструктуры, так и социально-экономические, экологические и поведенческие характеристики городских пространств. Одним из ключевых источников являются камеры наружного наблюдения, которые фиксируют движение транспорта и пешеходов, обеспечивают мониторинг безопасности и помогают в анализе использования городских зон в разное время суток. Информация с

камер позволяет создавать динамические модели потоков и выявлять узкие места в организации пространства [3].

Государственные порталы предоставляют доступ к официальным картографическим данным, выпискам из кадастров и статистике использования земли, что помогает формировать пространственные и правовые границы объектов. Кроме того, государственные реестры включают сведения о коммуникациях, зонах охраны и планируемых строительных объектах, которые необходимы для точного воспроизведения городской среды и ее инфраструктуры. Данные с таких порталов отличаются высокой надежностью и периодическим обновлением, что обеспечивает актуальность цифровой модели.

Метеорологические службы поставляют информацию о климатических условиях конкретных районов: температуре воздуха, осадках, ветре и солнечном освещении. Эти параметры важны для оценки комфорта и экологической устойчивости открытых пространств, а также для планирования озеленения и выбора отделочных материалов, влияющих на микроклимат. Интеграция метеоданных позволяет прогнозировать погодные изменения и предупреждать об экстремальных явлениях, что также учитывается при симуляции развития городской среды.

В качестве источников для создания цифрового двойника можно выделить следующие (рисунок 2):

– информация о транспортном потоке жителей города;

– информация о физических параметрах городской среды;

–данные камер наружного наблюдения позволяют интеллектуально анализировать характеристики городской среды;

– данные из открытых источников.

В градостроительстве и благоустройстве цифровые двойники позволяют проводить комплексную симуляцию поведения открытого пространства: движение людей, изменение микроклимата, влияние проектных решений на экосистему и социальную активность.

Синергия ГИС и цифровых двойников обеспечивает переход от ретроспективного описания территории к предиктивному моделированию. ГИС-платформы формируют геопространственный каркас, обеспечивая точную привязку данных, топологическую корректность и многоуровневый анализ. Цифровой двойник дополняет эту основу временной компонентой, динамическими симуляциями физических и социальных процессов, а также возможностью интерактивной визуализации сценариев. Преимущества такой интеграции заключаются в следующем:

1. Переход от статичного анализа к динамическому моделированию;
2. Возможность комплексной многокритериальной оценки проектных сценариев;
3. Существенное повышение обоснованности и предсказуемости проектных решений;
4. Улучшение коммуникации между участниками проекта (проектировщики, заказчик, жители, эксперты);
5. Снижение рисков реализации неэффективных решений.

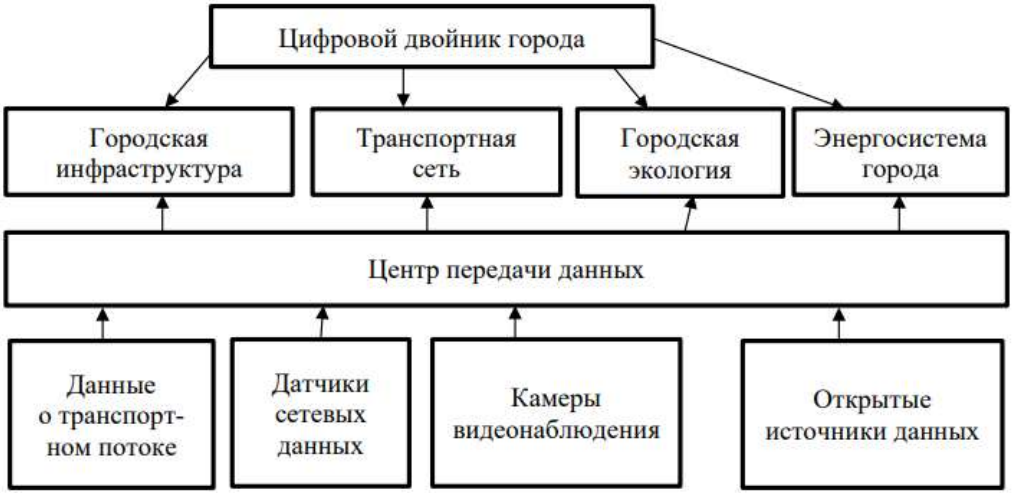


Рисунок 2 - Источники для создания цифрового двойника города

Таким образом, объединение ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников формирует перспективный подход к современному проектированию открытых городских пространств,

обеспечивая значительное повышение обоснованности и качества градостроительных и ландшафтных решений.

Несмотря на значительный прогресс, остаются вызовы: высокая стоимость создания и поддержки, проблемы совместимости данных, необходимость квалифицированных специалистов и вопросы конфиденциальности. ГИС-аналитика и цифровые двойники переводят градостроительное проектирование на качественно новый уровень – от интуитивного к доказательному планированию.

Практические примеры применения интеграции ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников и оценка эффективности подхода

В последние годы наблюдается значительный рост исследований, направленных на расширение возможностей ГИС-аналитики и цифровых двойников за счет интеграции с искусственным интеллектом, IoT и анализом больших данных.

Перспективы развития интегрированных систем ГИС-аналитики и цифровых двойников открывают существенный потенциал для повышения эффективности градостроительного планирования. Интеллектуальные платформы позволят не только сокращать временные и финансовые затраты на проектирование и эксплуатацию, но и создавать более инклюзивные, устойчивые и комфортные городские пространства, отвечающие вызовам будущего и потребностям разнообразных сообществ.

Одним из наиболее известных и зрелых проектов является Virtual Singapore – национальный цифровой двойник Сингапура. Интеграция ГИС с динамическими данными IoT и 3D-моделированием позволила проводить комплексное моделирование сценариев благоустройства, включая микроклимат, пешеходные потоки и влияние зеленых насаждений. Проект продемонстрировал значительное сокращение времени на анализ проектных решений – с нескольких месяцев до дней [3].

В Роттердаме (Нидерланды) цифровой двойник активно используется для работы с открытыми пространствами в условиях климатических рисков. ГИС-аналитика в сочетании с реал-тайм данными позволяет моделировать затопления, ветровые нагрузки и эффективность новых набережных и парковых зон. Город успешно тестирует сценарии благоустройства прибрежных территорий до их реализации, что существенно снижает риски и оптимизирует затраты [5].

В России интеграция ГИС и цифровых двойников активно внедряется в рамках национальных проектов «Умный город» и «Комфортная городская среда».

Цифровой двойник Нальчика (2ГИС совместно с «Геокад») – один из наиболее успешных региональных проектов. Платформа объединяет трехмерную модель города, ГИС-данные и аналитику для задач градостроительства и благоустройства. Она позволяет моделировать влияние новых объектов на транспортные и пешеходные потоки, а также оценивать эффективность озеленения и общественных пространств [5].

Алгоритм обоснования концепций благоустройства открытых пространств на основе интеграции ГИС и цифровых двойников

Для перехода от декларативного описания технологических возможностей к практике доказательного проектирования предлагается структурированный методический алгоритм, адаптированный для открытых городских пространств локального масштаба (1–15 га). Указанный масштаб обусловлен необходимостью учёта микроклиматических эффектов, пешеходной динамики и ландшафтно-архитектурных взаимосвязей, которые не фиксируются общегородскими цифровыми платформами.

Алгоритм включает пять последовательных этапов, обеспечивающих синергию ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников:

1. Сбор и нормализация пространственных данных. Формируется единое геоинформационное пространство на основе тематических слоёв: рельеф и гидрография, инженерные сети, существующее озеленение, транспортно-пешеходная сеть, результаты социологических опросов, архивные метеоданные. Все массивы приводятся к единой системе координат, проходят топологическую проверку и нормализацию по точности и временной привязке.

2. Построение базовой модели цифрового двойника. На основе ГИС-каркаса создаётся параметрическая 3D-модель с присвоением физико-функциональных атрибутов (альбедо поверхностей, гидравлическое сопротивление покрытий, пропускная способность маршрутов, коэффициенты теплообмена растительности). Выполняется первоначальная калибровка по реперным точкам натурных замеров.

3. Сценарное моделирование. Разрабатываются альтернативные варианты благоустройства, различающиеся плотностью и видовым составом озеленения, конфигурацией дорожно-тропиночной сети, размещением малых архитектурных форм и водных объектов. Каждый сценарий загружается в цифрового двойника для динамической симуляции в заданных временных интервалах.

4. Многокритериальная оценка. Эффективность сценариев оценивается по матрице показателей, сгруппированных по четырём направлениям:

- Экологические: индекс теплового комфорта, коэффициент поверхностного стока, площадь экологического каркаса.
- Социальные: плотность и равномерность распределения пешеходных потоков, индекс визуального комфорта, уровень акустического фона, среднее время пребывания.
- Экономические: капитальные и эксплуатационные затраты, удельная стоимость единицы площади благоустройства, срок окупаемости функциональных зон.
- Нормативные: соответствие нормативным требованиям, региональным регламентам благоустройства и правилам землепользования и застройки.

5. Верификация и обоснование выбора. Рассчитываются интегральные индексы сценариев, проводится их ранжирование методом взвешенных оценок. Итоговая концепция выбирается на основании доказательства соответствия заданным пороговым значениям и нормативным требованиям, что формирует объективную базу для согласования с органами власти и общественными слушаниями.

Достоверность результатов сценарного моделирования обеспечивается процедурой верификации и калибровки цифрового двойника. Калибровка выполняется по данным стационарных метеостанций, натурным замерам пешеходных потоков в пиковые часы и тепловизорной съёмке территории. Точность модели оценивается по коэффициенту детерминации (R^2) и средней абсолютной ошибке (MAE) между прогнозируемыми и фактическими значениями микроклиматических и поведенческих показателей. При $R^2 \geq 0{,}75$ и MAE $\leq 15\%$ модель признаётся достоверной для обоснования концептуальных решений. В случаях превышения пороговых значений требуется корректировка входных параметров или уточнение физической модели симуляции.

Предлагаемый алгоритм позволяет трансформировать интеграцию ГИС и цифровых двойников из технологической возможности в рабочий инструмент проектного обоснования, обеспечивая воспроизводимость результатов, прозрачность критериев выбора и снижение рисков реализации неэффективных градостроительных решений.

Выводы

Интеграция ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников представляет собой одну из наиболее перспективных схем современного градостроительного проектирования и благоустройства открытых городских пространств. Традиционные методы разработки концепций благоустройства, основанные преимущественно на интуиции и статичных двумерных материалах, все меньше соответствуют возросшей сложности задач, связанных с созданием комфортной, устойчивой и человекоориентированной городской среды.

Сочетание мощных аналитических возможностей ГИС с динамическими свойствами цифровых двойников дает возможность комплексно оценивать десятки взаимосвязанных факторов – от микроклиматических характеристик и пешеходных потоков до экологической устойчивости и социального восприятия пространства – еще на стадии концепции.

Практические примеры, рассмотренные в работе, подтверждают высокую эффективность интеграции. Внедрение цифровых двойников открытых пространств, по данным международных кейсов, способно сократить сроки предпроектного анализа в 4–6 раз за счёт автоматизации сценарного моделирования и визуализации. Кроме того, повышается точность прогнозирования функциональных и экологических эффектов, оптимизируется распределение бюджетных средств, а иммерсивные инструменты обеспечивают более активное участие жителей в публичных обсуждениях. Указанные эффекты достигаются при условии качественной верификации моделей, корректной калибровки входных данных и привлечения специалистов смежных компетенций. Интеграция ГИС-аналитики и технологий цифровых двойников способствует повышению качества, обоснованности и устойчивости решений в сфере благоустройства, что особенно важно в условиях реализации национальных проектов «Комфортная городская среда» и «Умный город».

В ходе исследования разработан и формализован методический алгоритм обоснования концепций благоустройства открытых пространств локального масштаба (1–15 га). Алгоритм структурирует проектный процесс на пять последовательных этапов: от нормализации пространственных данных до верификации сценариев и обоснованного выбора оптимальной концепции. Ключевым элементом алгоритма является процедура многокритериальной оценки и обязательная калибровка модели по

натурным данным с использованием пороговых значений точности ($R^2 \geq 0{,}75$, MAE $\leq 15\%$). Это обеспечивает переход от интуитивного проектирования к доказательному планированию, гарантирует воспроизводимость результатов и формирует объективную базу для согласования проектных решений с органами власти и профессиональным сообществом.

Список использованных источников

1. Басаргин А. А. Разработка концепции моделирования и симуляции цифровых двойников городской территории для решения практических задач // Вестник СГУГиТ. – 2024. – № 3 (49). – С. 123–135.
2. Иванов С. А., Никольская К. Ю., Радченко Г. И., Соколинский Л. Б., Цымблер М. Л. Концепция построения цифрового двойника города // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2020. – Т. 9, № 4. – С. 5–23.
3. Лисицкий Д.В, Осипов А.Г, Савиных В.Н. Цифровой двойник территории и методы геокогнитивного моделирования // Сборник материалов XVIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» - 2020.
4. Хельги Лаб: цифровые двойники для «Умных городов» [Электронный ресурс] // ГИСОГД.РУ : официальный сайт. – 2024. – 27 июня. – URL: https://gisogd.ru/tpost/ke6aznjfg1-helgi-lab-tsifrovie-dvoiniki-dlya-umnih (дата обращения: 04.05.2026)
5. Цхай А. А. ГИС-технология для улучшения состояния городской территории // Информатика и информационные технологии : сб. науч. тр. – 2016.

УДК 721
67.25 Районная планировка. Градостроительство

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОСЕЛКОВ

Старкова Таисия Викторовна,
почетный архитектор России, доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
Россия, г. Тамбов, e-mail: tstarkova1957@mail.ru

Гришова Татьяна Александровна,
доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
Россия, г. Тамбов, e-mail: gta.62@mail/ru

Пехова Кристина Сергеевна,
студент ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Россия,
г. Тамбов, e-mail: pehovaolesy@mail.ru

Топильская Ульяна Сергеевна,
студент ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», Россия,
г. Тамбов, e-mail: ulanatopilskaa3@gmail.com

Аннотация: в статье "Анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования рабочих поселков" собран материал об истории создания рабочих поселков, критериях сравнительного анализа отечественного и зарубежного опыта. Авторы рассматривают актуальность интереса к проектированию поселков. В статье представлен сравнительный анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования рабочих поселков.

Ключевые слова: рабочий поселок, отечественный опыт, зарубежный опыт, критерии, сравнительный анализ, инфраструктура, транспортная доступность, сохранность исторической панировки, современное состояние, комфортная среда.

Рабочий посёлок — это жилой комплекс для рабочих одного или нескольких промышленных предприятий, образующий единое поселение или городской район, который располагается в близости от объектов промышленности (месторождения, заводы).

В СССР (позднее в России) рабочий посёлок — это тип населённого пункта, где большая часть жителей занята вне сельскохозяйственной сферы (как правило, на одном или нескольких предприятиях). Ключевыми особенностями является то, что в таких поселках могут функционировать школы, детские сады, учреждения дополнительного образования, так же есть жилые кварталы, медицинские учреждения и иные объекты инфраструктуры. За рубежом рабочий поселок является корпоративным городком для работников промышленных предприятий. Такой тип поселков мог быть расположен на пригородной территории, с четким разделением на рабочую и жилую часть. Особенностями рабочих поселков за рубежом является то, что они часто отделены от города, но проживание остается комфортным для людей на этой территории. В отличии от отечественных поселков, структуры первой необходимости могут быть удалены от жилой части территории, но это компенсируется открытыми общественными пространствами и большими парковыми зонами.

В период индустриализации в СССР активно строились и развивались рабочие поселки. Со временем многие из них переросли в города. На сегодняшний день большая часть рабочих поселков утрачена, а то, что существует, находится в упадке. Благоустройство и ремонт необходимы, чтобы сохранить оставшееся наследие рабочих поселков СССР. Поселки строились на территории всей страны. Необходимо было создать комфортную среду вблизи предприятий для работы и жизни трудящихся. Создавались центры притяжения экономических и рабочих ресурсов, тем самым развивая и усложняя инфраструктуру рабочих поселков. Тематика поселений могла быть разнообразна, но структура проглядывалась везде одна: жилые дома с элементами социально-бытового обслуживания, комплексы детских учреждений (школы, детские сады), магазины, организации бытового обслуживания, скверы, парки, стадионы.

История возникновения рабочих посёлков (фабричных посёлков) за рубежом связана с промышленным развитием, необходимостью обеспечения рабочей силы для предприятий и созданием поселений вокруг фабрик и заводов.

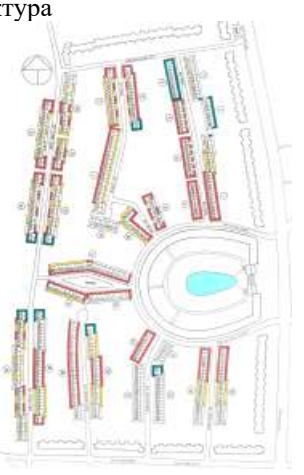
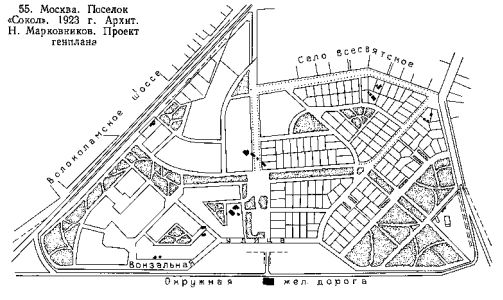
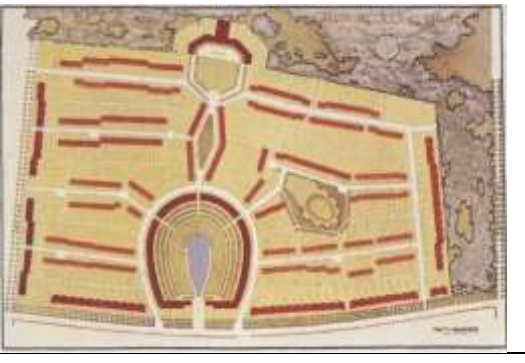
Основные критерии сравнения рабочих поселков отечественного и зарубежного опыта:

1. Инфраструктура: критерий, позволяющий оценить доступность структур первой необходимости (лечебные, образовательные, коммерческие, административные).
2. Транспортная доступность: критерий, позволяющий оценить доступность общественного транс порта и возможность передвижения на личном автомобиле.
3. Сохранность исторической планировки: критерий, позволяющий оценить, на сколько сохранилась первоначальная планировка в процентном соотношении.
4. Степень декорирования фасадов: критерий, позволяющий оценить, на сколько сильно архитекторы тех времен украшали здания красивыми декоративными элементами, которые повышали уровень культуры и эстетики окружения и новые фасады.
5. Степень озеленения: критерий, позволяющий оценить степень озеленения (как стихийного, так и созданного) территорий рабочих поселков.
6. Доступность открытых общественных пространств: критерий, позволяющий понять, преимущества/недостатки открытых общественных пространств и имеют ли они свободный доступ для населения.
7. Степень жилой застройки: критерий, позволяющий оценить в каком процентом соотношении относится жилая площадь к нежилой.
8. Современное состояние жилого фонда: критерий, позволяющий оценить, на сколько хорошо/плохо сооружение сохранилось и пригодно для эксплуатации.
9. Безопасная среда: критерий, позволяющий оценить, на сколько среда безопасна для проживания, а именно, на сколько вероятно возникновения опасных ситуаций дли жизни человека.
10. Доступная среда: критерий, позволяющий оценить, на сколько среда комфортна и доступна для маломобильных групп населения, для пожилых людей, для детей и в принципе для пешего передвижения
11. Комфортность среды: критерий, позволяющий оценить совокупность всех вышеперечисленных критериев и подытожить, насколько среда комфортна для проживания.

На основе выбранных критериев был проведен анализ общего состояния современных территорий зарубежных и отечественных поселков на примере сравнения поселка Хуфайзен в Берлине и Буденовский поселок в Москве. Итог анализа представлен в виде таблицы 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ состояния территорий зарубежных и отечественных поселков

	Отечественный опыт	Зарубежный опыт
1	Инфраструктура  Доступность структур первой необходимости хорошо обеспечена (указать радиусы)	Инфраструктура  Структуры первой необходимости удалены от поселка и находятся в черте города. Доступность плохо обеспечена.
2	Транспортная доступность  Обеспечена транспортная доступность ко всем важным объектам первой необходимости и инфраструктуры.	Транспортная доступность  Доступность к объектам первой необходимости обеспечена плохо, т.к они удалены от поселка и находятся в черте города. Объекты инфраструктуры находятся в пешей доступности.
3	Сохранность исторической планировки Сравнение плана 1923 и 2024  	Сохранность исторической планировки 1925 

	 Градостроительный план подвергся изменениям. Планировка по улицам сохранилась, но теперь часть Москвы и стал адм. округом. В сентябре 2024 года сообщалось о планах построить в районе Сокол жилой квартал по проекту комплексного развития территорий (КРТ). Планировалось сформировать новый жилой квартал, построить объекты общественно-делового назначения, благоустроить территорию и обеспечить её удобными дорогами.	 В 2018 году сообщалось, что посёлки Хуфайзен и Шиллерпарк, спроектированные Таутом, отреставрированы и заселены, а ранее стоял вопрос о включении их в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО как памятников немецкого модернизма. Градостроительный план сохранился.
4	Современное состояние Сегодня поселок является частью престижного района. Он сохраняет свой уникальный исторический облик с малоэтажной застройкой и тихими улицами, но при этом находится в густонаселённом районе с развитой современной инфраструктурой, образовательными учреждениями (МАИ, МГАП), транспортной доступностью и зелёными зонами, являясь желанным местом для жизни, где историческое наследие сочетается с городским комфортом.	Современное состояние Поселок сохраняет свой облик и статус доступного жилья с садами и зеленью, оставаясь живым районом, но со своей спецификой в современном Берлине, где ценится его история и дизайн. Начиная с 2018 года поселок отреставрирован и заселен.
5	Степень декорирования фасадов 	Степень декорирования фасадов 

	 В поселке "Сокол" (поселок художников) в Москве степень декорирования фасадов очень высока и разнообразна, поскольку это уникальная историческая застройка с домами, спроектированными знаменитыми архитекторами и принадлежавшими творческим личностям, что отражается в индивидуальных, часто экспериментальных и художественных решениях, с элементами модерна, конструктивизма, авангарда, с обилием рельефов, скульптуры, необычных форм и фактур, делая каждый дом произведением искусства.	 В поселке «Хуфайзен» в Берлине степень декорирования фасадов умеренная, функциональная и яркая, характерная для модернизма и «Нового Вещества» (Neues Bauen), с акцентом на функциональность, но с яркими цветовыми решениями для компенсации аскетизма, в основном использующая простые формы и цветовую палитру (белый, синий, красный) для выделения объемов и создания атмосферы, что является отличительной чертой работ Бруно Таута.
6	Комфортная среда Поселок Сокол в Москве комфортен для жизни благодаря обилию зелёных насаждений и развитой инфраструктуре. Некоторые преимущества района: ● **Транспортная доступность**. Есть станция метро и все виды общественного транспорта, что позволяет жителям добираться до центра города примерно за 10–15 минут. ● **Социальная инфраструктура**. В районе действуют несколько поликлиник, школ, детских садов, музыкальная школа, а также знаменитые вузы города. ● **Места для досуга**. В районе есть свой театр, много парков, где приятно гулять, стадионы и магазины. Однако есть и недостатки, среди которых — **пробки и плотность застройки**, что вызывает недостаток парковочных мест. Также есть мнение, что **экологическая обстановка** в районе благоприятная: почти четверть территории занята зелёными насаждениями, что улучшает экологию.	Комфортная среда Посёлок Хуфайзен в Берлине, спроектированный Бруно Таутом, был создан с целью обеспечения комфортного проживания, в нём пытались создать новый тип городской жизни с садами, удобной инфраструктурой и квартирами, где у каждого было достаточно света, воздуха и места для нормальной жизни. Некоторые особенности, которые способствовали комфортности среды: ● **Зелёные насаждения и свободное пространство**. Несмотря на высокую плотность застройки, в проекте учитывались зелёные зоны и свободные пространства, похожие на дворы. ● **Продуманная эргономика помещений**. Например, обилие естественного света благодаря витражному остеклению одной из стен, ориентация спален на восток и сквозное проветривание на верхнем уровне. ● **Наличие необходимых удобств**. Квартиры небольшой площади были оснащены всем необходимым: от канализации до компактных кухонь. ● **Использование ярких цветов**. Фасады домов были окрашены в разные цвета, что делало район уютным и ярким, даже в дождливый день.
7	Степень озеленения	Степень озеленения

	 Посёлок Сокол в Москве был спроектирован с учётом **высокой степени озеленения**: широкие зелёные улицы, внутриквартальные скверы, парк. Для озеленения подбирались определённые породы деревьев: красный клён, ясень, мелколистная и крупнолистная липа, американский клён, тополь Альба. В посёлке высаживали и разводили **около 150 видов** декоративных растений, многие из которых были занесены в Красную книгу.	 В проекте посёлка Хуфайзен в Берлине **большое значение было уделено зелёным насаждениям и свободному пространству**, несмотря на высокую плотность застройки. Множество зеленых зон, которые представлены в виде парков, скверов, аллей. В частности, в одном из внутренних дворов посёлка есть пруд, а вокруг него — зелень, гравийные дорожки, аккуратные фонари и лавочки.
8	Доступность открытых общественных пространств **Транспортная доступность**: • Ближайшие станции — «Сокол» (метро) и «Панфиловская» (МЦК) — находятся примерно в 500 м к востоку от посёлка и в 350 м к югу соответственно. • В близости от посёлка на улице Алабяна расположены две остановки наземного общественного транспорта: «Улица Алабяна» и «Улица Левитана». **Парки** • **Мемориально-парковый комплекс героев Первой мировой войны**. Площадь — 11,2 га. Ранее на месте парка находилось Московское городское Братское кладбище жертв Первой мировой войны, открытое в 1915 году. В советское время кладбище было ликвидировано, а на его месте разбит парк. В парке есть мемориалы и построена часовня в память о погибших. • **Старый сиреневый сад**. Здесь проложили аллеи, оборудовали их фонарями и скамейками, построили детские городки и спортивные площадки. • **Сквер Дивизии Московского народного ополчения**. Весной здесь расцветают каштаны, летом можно отдохнуть в тени на лавочках, посмотреть на центральный фонтан. **Площадки** • **Спортивный комплекс «Сокол — Территория Спорта»** в Центре культуры и бизнеса «МОСКВА-СОКОЛ». Здесь можно заниматься пляжным волейболом и пляжным теннисом на тёплом песке, есть	Доступность открытых общественных пространств **Транспортная доступность**: Ближайшие станции— метро Блашкоаллее. **Парки** • **Внутренний двор** в посёлке. В центре двора — пруд, вокруг — зелень, гравийные дорожки, аккуратные фонари и лавочки. У жителей первых этажей есть выход на собственные участки — сквозь зелень можно рассмотреть садовую мебель и надувные бассейны. • **Зелёные насаждения** — главное здание расположено вокруг небольшого водоёма, а ленточная застройка оставляет многочисленные свободные пространства по подобию дворов. **Особенность**: несмотря на высокую плотность застройки, большое значение было уделено зелёным насаждениям и свободному пространству. **Площадки** • **Уличные водокачки** — в посёлке есть уличные водокачки. • **Квартальное кафе, пекарня, досуговый центр для пенсионеров** — в посёлке есть инфраструктура, которая обеспечивает жильцов.

	две универсальные площадки для игры в волейбол или баскетбол. • **Футбольный манеж «Сокол Junior»** — адрес: ул. Панфилова, 18, к. 1. Здесь есть крытая площадка с искусственной травой, раздевалки, душевые и зона отдыха. • **Детские площадки** — например, у домов 16 и 18 на Новопесчаной улице. **Музеи** • **Музей посёлка «Сокол»** — находится по адресу: ул. Шишкина, 8/1. Здесь хранятся документы и исторические фотографии посёлка, поделки жителей, а также обломки рухнувшего на посёлок 18 мая 1935 года советского агитационного самолёта «Максим Горький».	
9	Степень жилой застройки  Застроен жилыми домами на 80% по отношению к зеленой зоне. На озеленение приходится 20%. В районе Сокол Москвы степень жилой застройки пространств представлена разными типами зданий: сталинскими домами, хрущёвками, высотными зданиями и новостройками. Основное строительство в районе пришлось на 1940–1970-е годы.	Степень жилой застройки  Застроен жилыми домами на 60% по отношению к зеленой зоне. На озеленение приходится 40%. Всего в посёлке было 1072 квартиры, из них 600 — в четырёхэтажных многоквартирных корпусах, а 472 — в расположенных рядами одноквартирных домах. При этом, несмотря на высокую плотность застройки, в проекте уделялось внимание зелёным насаждениям и свободному пространству: главное здание располагалось вокруг небольшого водоёма, а ленточная застройка оставляла многочисленные свободные пространства по подобию дворов.
10	Безопасная среда Экологическая ситуация в Соколе находится на удовлетворительном уровне, но есть некоторые проблемы: • Наличие промышленных зон. Предприятия не оказывают значительного влияния на экологию, так как расположены вдалеке от жилых кварталов. Однако в ветреную погоду концентрация опасных веществ в воздухе может усиливаться.	Безопасная среда Жители посёлка Хуфайзен отмечают **комфортные условия для жизни** — комплекс зелёный, тихий, сомасштабный человеку. Однако есть и негативные отзывы — некоторые жильцы жаловались на запущенность коммуникаций, например, на то, что из-за сложной внутренней планировки дома прорванная труба грозила потопом. Известно, что в Берлине с 2008 года введены **зелёные зоны** — зоны с низким уровнем выбросов. По ним разрешено перемещаться лишь автомобилям, соответствующим современным

	• Загруженность Ленинградского проспекта и Волоколамского шоссе. Эти магистрали — одни из наиболее загруженных, из-за чего концентрация угарных газов в атмосфере может превышать допустимые нормы. • Расположение парков и зон отдыха. Они находятся преимущественно в южной части района, из-за чего экология в Соколе считается неоднозначной. В 2020 году компания EcoStandard Group присвоила району Сокол 8 баллов, что означало «удовлетворительную» экологическую обстановку. При оценке учитывались такие параметры, как площадь района, плотность населения, количество зелёных насаждений, наличие водоёмов поблизости, загруженность автомагистралей, близость транспортных узлов, промышленных зон и другие.	экостандартам и не загрязняющим окружающую среду.
1 1	Доступная среда Некоторые аспекты доступной среды в этом районе: • Приспособление жилых домов и дворовых территорий для людей с инвалидностью. Например, установка пандусов, тактильных покрытий и поручней, обустройство мест отдыха, расширение дверных проёмов, устранение порогов, понижение бордюров. • Установка подъёмных платформ в подъездах домов. Это улучшает качество жизни людей с инвалидностью, позволяет им самостоятельно совершать прогулки, посещать различные мероприятия, решать бытовые вопросы. Чтобы установить платформу, нужно обратиться в органы социальной защиты по месту жительства и предоставить постоянную регистрацию в Москве и врачебную рекомендацию об использовании кресла-коляски. • Благоустройство парков и зелёных зон с учётом потребностей маломобильных граждан. Так, в сиреневом саду имени Леонида Колесникова проложили прогулочные аллеи, в том числе для	Доступная среда Инфраструктура приспособлена для людей с ограниченными возможностями. Многие общественные места оборудованы пандусами, лифтами, специальными датчиками движения и звуковым сопровождением пешеходных переходов. В поселке, в частности, создана безбарьерная среда и доступная транспортная система. В проекте Хуфайзена стремились создать новый тип городской жизни с садами, удобной инфраструктурой и квартирами, где у каждого было бы достаточно света, воздуха и места для нормальной жизни. Для этого людям предлагали просторные квартиры с балконами и даже небольшими садиками. Однако, несмотря на старания архитекторов, снизить стоимость жилья до уровня, доступного семьям рабочих, не удалось. После завершения строительства в домах поселились чиновники и служащие.

	маломобильных посетителей — с пологими сходами на тротуары. Приспособление пешеходных переходов. Например, планируется построить переход длиной около 140 метров над путями МЦК, который будет приспособлен для граждан с ограниченными возможностями здоровья — его снабдят двумя лифтами.	

Заключение: в ходе работы был проведен анализ сложившейся ситуации рабочих поселков отечественного и зарубежного опыта. Были выделены основные критерии сравнительного анализа. Входе проделанной работы можно сделать вывод о том, что рабочие поселки формировались не только по разным принципам формирования среды, но и по разным акцентам на важных функциях данных территорий. Например: зарубежные рабочие поселки формировались в отдалении от города, важные объекты инфраструктуры были удалены от жилых территорий, но это не мешало комфортному проживанию людей, так как это компенсировалось большими зелеными территориями, парками, скверами. В отечественных рабочих поселках основным принципом проектирования было то, что работать и жить нужно в одном месте, чтобы меньше тратить времени на дрогу, что значительно увеличивало производительность труда. Все важные объекты инфраструктуры так же находились в шаговой доступности. Но, несмотря на все плюсы данного проектирования, рабочие поселки страдали из-за перенасыщенности территорий. В ходе анализа было выявлено, что при проектировании рабочих поселков отечественного опыта и зарубежного опыта невозможно сохранить баланс территорий, в России при проектировании поселков страдает комфортность и доступность жилья, а за рубежом-доступность инфраструктуры и транспорта.

Список использованных источников

1. «Архитектурно-планировочные основы проектирования рабочих посёлков», В. В. Семёнов-Прозоровский, П. И. Дубровский, Москва, Изд. и тип. Изд-ва Акад. архитектуры СССР, 1947.

2. «Анализ зарубежного и отечественного опыта проектирования рабочих посёлков», С. В. Новиков, Е. А. Николаева, журнал «Вестник магистратуры», 2021.

3. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://руни.рф/ Посёлок_Сокол

4. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://руни.рф/Посёлок_Хуфайзен

5. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://tellmi.ru/blog/stroitelstvo-rabochix-poselkov-organizatsiya-i-infrastruktura/

6. [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://www.klerk.ru/buh/articles/482881/

7. [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.0e564b5b-69c17995-236102f7-74722d776562/https/www.economicsdiscussion.net/human-resource-management/approaches-to-job-design/32345.

УДК 72.035.9
67.29. 53 Промышленные комплексы, здания и сооружения
67.01.11 Современное состояние и перспективы развития

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГОРОДА МИРА: ЗАРОЖДЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Старкова Таисия Викторовна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», старший преподаватель, Почетный архитектор России, e-mail: *tstarkova1957@mail.ru*

Евлахина Анастасия Романовна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент, e-mail: Evlakhina04@mail.ru

Перова Юлия Алексеевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент, e-mail: Yuliya.perova2004@yandex.ru

Кудинова Татьяна Сергеевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент, e-mail: Kudinova.05@bk.ru

Аннотация. В статье исследуется историческая эволюция пространственной организации и принципов функционального зонирования промышленных городов под влиянием технологических, экономических и социальных факторов. Авторы проводят комплексный ретроспективный анализ — от истоков зарождения ремесленных центров в доиндустриальный период и формирования уникальной отечественной модели «город-завод» в дореволюционной России до хаотичной урбанизации эпохи промышленного переворота на Западе. Особое внимание уделено советскому периоду с его жестким линейно-функциональным планированием, экологическим зонированием и феноменом монофункциональных городов (моногородов). На основе анализа постсоветского кризиса заброшенных индустриальных территорий и сопутствующих ему градостроительных, экологических и социально-экономических проблем, в статье сформулированы современные тренды преобразования городской среды. В качестве ключевых векторов развития выделены ревитализация промзон, создание многофункциональных районов с гибким зонированием, цифровая трансформация («умный город») и реализация принципов устойчивого «зеленого» развития для повышения качества жизни населения.

Изучение промышленных городов позволяет проследить, как технологии, экономика и социальные факторы исторически влияли на их градостроительную структуру и принципы функционального зонирования. Пространственная организация индустриальных центров на разных этапах отражала баланс между нуждами производства и жизнью обычных людей. Выявление общих закономерностей развития городской среды — от первых ремесленных центров до современных технопарков — необходимо, чтобы понять, как можно изменить и улучшить крупные промышленные зоны в сегодняшних реалиях.

1. Доиндустриальный этап: истоки разделения городских территорий

Первые прообразы промышленных центров возникли в эпоху Неолитической революции (IV–III тыс. до н. э.) в долинах великих рек: Тигра, Евфрата, Инда, Нила и Хуанхэ. Пространственная организация этих древних городов строилась на объединении земледелия, ремесла и торговли. Их градостроительная структура была смешанной: административные и религиозные центры соседствовали с первыми производственными и хозяйственными окраинами. Главными факторами их появления были доступ к природным ресурсам, развитие транспорта, оросительных систем и растущий спрос на ремесленную продукцию.

В доиндустриальный период (вплоть до конца XVIII века) города формировались в основном вокруг местных ремесел, мануфактур и мест добычи сырья. Для средневековой европейской модели (например, Брюгге и Любек) или крупнейших китайских центров производства фарфора (Цзиндэчжэнь) была характерна компактная градостроительная структура, развивающаяся вокруг одного центра.

Этим центром обычно выступала рыночная площадь с ратушей и собором. Функциональное зонирование в то время было очень мелким: жилые кварталы делились по профессиям, а жилье и мастерская часто находились в одном и том же здании. Крупных и изолированных промышленных

районов в планах городов не было, поэтому они оставались соразмерными человеку, и все объекты находились в пешей доступности.

2. Дореволюционный период в России: появление городов-заводов

Специфика российского индустриального градостроительства сильно отличалась от западноевропейского опыта, где города обычно вырастали из торговых центров. В России рождение промышленного города началось по воле государства в эпоху реформ Петра I в начале XVIII века. Масштабный промышленный бум на Урале создал уникальный тип поселения — *город-завод* (яркими примерами стали Екатеринбург и Нижний Тагил).

В этой модели архитектура и градостроительство были полностью подчинены логике производства. Металлургические заводы напрямую определяли всю планировку. План города жестко привязывался к водоему или реке: заводская плотина, цеха и предзаводская площадь формировали главный композиционный центр.

От этого индустриального ядра строилась четкая линейная сетка улиц вдоль рек. Первичное функциональное зонирование строго разделяло пространство на производственную территорию, административную часть (заводские конторы, дома начальства, соборы) и жилые окраины — рабочие слободы. Промышленная архитектура уральских заводов (строгие здания цехов, плотин и госпиталей в стиле классицизма) задавала масштаб и эстетический стандарт для всей остальной застройки.

3. Промышленная революция и хаотичное развитие городов

В цене XVIII – середине XIX веков британские города стали классическим примером бурного и хаотичного промышленного роста. Промышленный переворот разрушил прежнюю компактную градостроительную структуру. Появление крупных фабрик, которым требовалось много места, привело к вытеснению старых жилых кварталов. Исторические центры городов загрязнялись и постепенно застраивались заводами.

В этот период функциональное зонирование было стихийным. Крупные промышленные зоны (текстильные фабрики Манчестера, металлургические гиганты Бирмингема) строились вдоль транспортных путей — каналов и железных дорог. Параллельно происходило резкое разделение населения и территорий:

Рабочие кварталы: хаотично застраивались дешевым, перенаселенным жильем (бараками) прямо у дымящих фабрик, что приводило к ужасной антисанитарии.

Элитные районы: переносились на чистую окраину в виде благоустроенных зон с парками и особняками владельцев предприятий.

Во второй половине XIX – начале XX веков эта модель распространилась по миру. В США развитие железных дорог вызвало рост огромных городов (автомобильный Детройт, металлургический Питтсбург), где высотная архитектура деловых центров резко контрастировала с грязными промышленными зонами. В Германии Рурский регион (Дуйсбург, Дортмунд) превратился в сплошной угольно-металлургический район, где жилые поселки рабочих были тесно зажаты между шахтами и заводами, а о качестве жизни людей почти не думали.

4. Советский период: жесткое планирование и зависимость от одного завода

Новый этап развития связан с советским индустриальным градостроительством 1930-х годов и послевоенного периода. Проектирование и строительство новых городов (Магнитогорск, Комсомольск-на-Амуре) велось по строгим пятилетним планам и государственным расчетам. Пространственная композиция советского соцгорода опиралась на линейно-функциональные схемы (например, идеи архитектора Н. А. Милютина). При этом развитие промышленности часто было важнее, чем комфорт жилья.

Функциональное зонирование стало четким и обязательным. Городская территория строго делилась на параллельные полосы: промышленную, жилую (селитебную) и административно-общественный центр. Обязательным элементом стало экологическое зонирование — создание крупных санитарно-защитных зеленых полос между заводами и жилыми домами для снижения загрязнения.

Планировка разделилась на два типа: линейная вдоль географических объектов (как в Магнитогорске вдоль реки) и упорядоченная блочная застройка (как в Комсомольске-на-Амуре). Архитектура этого периода прошла путь от необычных конструктивистских кварталов до торжественного стиля («сталинский ампир»), а позже — к простым типовым панельным домам. Главной проблемой советской модели стала сильная зависимость от одного завода (монофункциональность). Вся жизнь и инфраструктура города завязывались на одно предприятие, что создавало большие риски в будущем.

Особым направлением советского градостроительства стали закрытые города (ЗАТО, такие как Саров, Озерск). Их планировка создавалась с учетом секретности, автономности и изоляции от внешнего мира.

В этот же период в Азии (портовые узлы Йокогамы в Японии или Шанхай в Китае) градостроительная политика пыталась совместить новые заводы с традиционной плотной застройкой восточного города. А в развивающихся странах Латинской Америки (Бразилия) и Африки индустриализация шла стихийно, из-за чего вокруг заводов вырастали огромные кварталы трущоб (фавелы).

5. Постсоветский период: кризис старых промышленных зон

Конец XX и начало XXI века принесли серьезный кризис городам, которые зависели от одного предприятия. В постсоветской России остановка или сокращение производств привели к тому, что гигантские заводские территории внутри городов оказались заброшенными. Это выявило несколько крупных проблем:

Градостроительные проблемы: сильная оторванность функциональных зон друг от друга, устаревшие дороги, которые не справляются с машинами, нехватка парков, скверов и общественных пространств, а также ветшание старых советских жилых домов.

Экологические проблемы: сильное загрязнение воздуха, воды и почвы, из-за чего теперь требуется сложная очистка (рекультивация) земель и ликвидация старых промышленных отходов.

Проблемы с инфраструктурой: сильный износ труб и коммунальных сетей, нехватка современных школ, детских садов и больниц, а также слабое внедрение цифровых технологий в управление городом.

Социально-экономические проблемы: упадок моногородов из-за проблем на главных заводах, нехватка хороших рабочих мест, низкие зарплаты и массовый уезд жителей, особенно перспективной молодежи.

6. Современные тренды: обновление территорий и разнообразие функций

Эти проблемы заставили архитекторов полностью переосмыслить принципы градостроительства и отказаться от идеи, что город должен жить только за счет завода. Современный подход требует разнообразия: в одном пространстве должны сочетаться чистые производства, научные центры, культурные площадки, бизнес и зоны отдыха. Сегодня планирование развивается по нескольким главным направлениям:

Объединение функций: создание многофункциональных районов, где гибкое функциональное зонирование позволяет без конфликтов совмещать новые экологичные производства со студенческими городками, туристическими объектами и жилыми домами.

Ревитализация промзон: обновление и перестройка заброшенных заводских территорий. В современной архитектуре очень популярно превращать старые заводы в креативные кластеры, офисы, музеи и жилые лофты. При этом индустриальное наследие (старые кирпичные стены, трубы, конструкции) сохраняют как главную фишку места. Мировым примером стал Рурский регион в Германии, а в сфере науки и производства — район Чжунгуаньцунь в Китае.

Устойчивое развитие: внедрение «зеленых» технологий, строительство энергоэффективных домов, восстановление природы в городе, развитие удобного общественного транспорта и велодорожек.

Цифровизация: внедрение «умных» систем управления (регулирование пробок, контроль энергопотребления и вывоза мусора), создание цифровых моделей городов и сайтов, где жители могут сами участвовать в планировании районов.

Развитие человеческого капитала: создание условий для удержания молодежи. Для этого проектируют красивое современное жилье, открывают новые учебные заведения, культурные и спортивные центры.

Развитие промышленных городов — это живой процесс, который сильно зависит от технологий, экономики и градостроительной политики. Пройдя путь от хаотичной и грязной застройки первых фабрик до жестких советских промзон, современное планирование пришло к идее гибких и разнообразных пространств. Эволюция функционального зонирования показывает, как архитекторы пытаются найти баланс между эффективностью заводов, экологией и комфортом для простых людей.

Успех промышленных городов будущего будет зависеть от умения архитекторов совмещать историю и старые заводы с новыми подходами, сохраняя уникальное лицо города и делая его удобным для современной жизни.

Список использованных источников

1. Глазычев В. Л. Урбанистика. М.: Европа, 2008. 217 с.

2. Лаппо Г. М. География городов. М.: Владос, 1997. 480 с.
3. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: официальный сайт. URL: https://minstroyrf.gov.ru/ (дата обращения: 19.03.2026).
4. Федеральная служба государственной статистики (Росстат): официальный сайт. URL: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения: 19.03.2026).
5. Hall P. The World Cities. London: Weidenfeld & Nicolson, 1966. 256 p.
6. Sassen S. The Global City: New York, London, Tokyo. 2nd ed. Princeton: Princeton University Press, 2001. 440 p.
7. Sustainable Development Goals. Goal 11: Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable // United Nations: [site]. URL: https://un.org/sustainabledevelopment/cities/ (дата обращения: 19.03.2026).
8. UN-Habitat: official website. URL: https://unhabitat.org/ (дата обращения: 19.03.2026).
9. UNESCO: official website. URL: https://unesco.org/ (дата обращения: 19.03.2026).

УДК 692.232
07.04.03: История архитектуры и градостроительства.

АРХИТЕКТОР МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ КОРИНФСКИЙ: ТВОРЧЕСТВО И ЖИЗНЕННЫЙ ПУТЬ ЗОДЧЕГО

Старкова Таисия Викторовна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», почетный архитектор России , доцент кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: tstarkova1957@mail.ru

Мищенко Нелли Сергеевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: nelyxa4551@gmail.com

Конец 19 века в Российской Империи стал периодом зарождения раннего классицизма – архитектурного стиля, пришедшего в нашу страну из Франции. Зодчие начали использовать в проектировании зданий законы античной гармонии. Пышное барокко сменилось сдержанностью и рационализмом: стали использовать строгую симметрию, начали осваивать ордерную систему.

1 января 1788 года в Арзамасе родился мальчик, который навсегда связал свою судьбу с архитектурой и оставил большой след в облике русских городов. Этот мальчик- Михаил Петрович Варенцов, сын мастера по изготовлению икон и резьбы по дереву. С ранних лет, он приобщался к творчеству, помогая в семейном деле. Это помогло ему поступить в художественную школу, в своем родном городе. Директор школы, А.В. Струпин, увидел в Михаиле Петровиче большой потенциал: в 1810 году он представил своего ученика А.С. Строганову и А.Н. Воронихину, что сыграло большую роль в судьбе будущего архитектора. Михаил Петрович попал в Академию Художеств в Санкт-Петербурге, сам Андрей Никифорович Воронихин взял его в свои ученики.

27 августа 1810 года Совет Академии Художеств одобрил проект по возведению Воскресенского Собора в Арзамасе, за что получил свою первую медаль.

Карьера Михаила Петровича стремительно пошла в гору. Ему удостоилось представлять свои работы самому императору: после чего, его фамилия сменилась на «Коринфский», по высочайшей воле монарха. Всю 9-летнюю программу обучения Академии Художеств зодчий прошел за полтора года, после чего ухал в свой родной город.

В Арзамасе Коринфский начал свой полноценный путь как архитектор. Молодой человек посодействовал для открытия художественного архитектурного училища в родном городе. В 1814 году начал строится Воскресенский собор, проект которого был создан четырьмя годами ранее. Здание имеет форму греческого креста, положенного на квадрат, пять куполов, четыре портика, опирающихся на сорок восемь колонн. Данный храм имел очень большое общегородское значение: ведь он был не только Православной святыней, но и памятником Отечественной войне 1812 года.



Рисунок 1 – Вознесенский собор в г.Арзамас

Уже в 1815 году, Михаил Петрович был приглашен в Симбирск для строительства Троицкой церкви. Проект был очень амбициозным для того времени: в плане собор был круглый, с четырьмя 8-колонными портиками. Массив здания завершался световым барабаном – ротондой с 12 арочными окнами 24 колоннами. Пилонами было сформировано 4 овальных помещения вокруг подкупольного пространства. Данный проект храма удостоился личного утверждения Императором. А 7 сентября 1824 года Александр 1 заложил первый камень этого храма, перед началом возведения.



Рисунок 2 – Троицкая церковь в г. Симбирск (Ульяновск)

Помимо работы с храмами, архитектор работал над проектом усадьбы И.А. Попова и дома дворянки А.В. Аненнковой. В народе также запомнилась купеческая биржа и 15 лавок с каланчой на базаре. В Авдатовском районе в 1834 году Михаил Петрович спроектировал уездное училище.

В селах Автодеево и Нучаров появились два храма в 1820 году. В Гагинском районе Коринфский разработал проект церкви села Покров в 1820 году. В Лукьянове был построен Покровский собор в 1829 году. В 1821 году М. Коринфский сделал проект храма Иоанна Предтечи в Саровской Пустыни.

В Шатковском районе, в селе Костянка был возведен храмовый комплекс в честь апостола Петра и Павла. Высота самой Петровской церкви достигала 45 метров, высота колокольни – 60 метров. Весь храмовый комплекс располагался на холме, благодаря этому доминировал над местностью и был виден за десятки верст издалека.



Рисунок 3 – Храмовый комплекс в честь Петра и Павла в с.Костянка (Шатковский район)

Также, в Симбирской губернии, Михаилом Петровичем были спроектированы церкви в селах Пятино, Шигоны, Богдановка; торговые ряды в Корсуне (1829-1831 гг); больница в селе Сыреси; образцовые хлебные магазины в селе Ключищи.

В 1832 году, уже известного архитектора, переводят в Казань, для строительства Казанского Университета– в то время ректором университета был знаменитый математик Н.И. Лобаческий. В этом заведении, Михаил Петрович стал преподавать архитектуру с 1837 года.

Большинство проектов Коринфского в Казани были связаны с образованием: гимназии, пансионы, училища. С его легкой руки появилась обсерватория и анатомический театр, библиотека, химическая лаборатория.

В 1835 году по его проекту начал строиться Собор Грузинской Божьей Матери в Раифском Богородицком Монастыре в стиле ампир, что было редкостью в его практике.



Рисунок 4 – Собор Грузинской Божьей Матери в Раифском Богородицком Монастыре

Для позднего периода творчества Михаила Петровича характерно увлечение псевдоготикой. Такие элементы он ввел в отделку интерьеров Казанского Университета, спроектировал готический иконостас для Николо-Низской церкви в Казани.

Коринфский внес огромный вклад в архитектуру провинциальных городов и сел России. Некоторые историки даже называют его главным архитектором Поволжья. Он создал величественные гармоничные ансамбли в провинциальных городах, где смог воплотить столичный размах. Его работы находят даже в Нижнем Новгороде, Пензе, Костроме. Почти с полной уверенностью можно утверждать, что его работ было гораздо больше, чем историки могут посчитать на данный момент: многие храмы были разрушены, имя архитектора ушло вместе с ними.

Список использованных источников

1. Русскій Архивъ, 1906 г., книга 3, стр. 438. — 110 —. по части художествъ 3)
2. Егерев, Василий Васильевич. Архитектор М. П. Коринфский [Текст] : Очерк жизни и творчества / Гос. музей Татар. АССР. — Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1961. — 36 с.

УДК 711.4.16
67.25.119 Планировка и застройка городов и населенных мест. Города и городские агломерации

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА: ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕГРАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

Фролова Елена Викторовна,
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», старший преподаватель кафедры «Архитектурно-строительное проектирование»
email: efrolova.07@mail.ru

Бирюкова Анастасия Денисовна,
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», студент
email: nastasya.biryukova.2005@gmail.com

Генеральный план — проектный документ, на основании которого осуществляется планировка, застройка, реконструкция и иные виды градостроительного освоения территорий. Он позволяет определить где будут жилые кварталы, где — промышленные объекты, где — парки и рекреационные зоны, как пройдут дороги и инженерные коммуникации. Еще недавно генплан представлял собой статичный документ, решения которого считались неизменными на годы вперед. Но город — не застывшая картинка, а живая среда, зависящая от климата, плотности потоков и экологического состояния. И сегодня традиционный подход к генплану начинает давать сбои.

Одновременно с этим происходят два важных процесса. Первый — цифровизация. Появились технологии, которые позволяют моделировать город не на бумаге, а в цифре: видеть, как будет работать инженерная сеть, где возникнут пробки. Второй процесс связан с экологией. Происходящие климатические изменения выражаются в учащении экстремальных температурных явлений (аномальная жара), возрастании интенсивности ливневых осадков, а также в сокращении площадей озелененных территорий в структуре городов. Существующая нормативно-техническая база, разработанная в иных климатических и социально-экономических условиях, демонстрирует недостаточную адаптивность к перечисленным вызовам, что требует пересмотра подходов к градостроительству.

Проблема в том, что эти два процесса — цифровизация и экология — пока слабо связаны между собой в практике. Есть умные технологии, но они часто применяются точечно. Есть экологические требования, но они зачастую воспринимаются как формальность. Нужно, чтобы экология была не просто строчкой в отчете, а одним из ключевых параметров, заложенных в генплан с помощью цифровых инструментов. Задачей данной статьи является обоснование возможности и необходимости перехода от статичного генерального плана к динамической цифровой модели территории, в которой экологические требования выступают не приложением к документу, а базовым проектным параметром, контролируемым и оптимизируемым с помощью искусственного интеллекта и смежных технологий.

Генеральный план исторически выступает в качестве основного документа территориального планирования, определяющего функциональное зонирование, параметры застройки и развитие инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры. В отечественной практике сложилась устойчивая традиция восприятия генплана как документа долгосрочного действия, утверждаемого на 20–30 лет и обладающего высокой степенью нормативной определенности.

Однако такая статичность имеет оборотную сторону. Традиционный генплан фиксирует состояние территории на момент разработки и не предполагает механизмов оперативной корректировки в ответ на изменяющиеся внешние условия. К числу наиболее существенных ограничений классического подхода можно отнести:

- линейность планирования — отсутствие сценарного подхода и возможности оценки альтернативных вариантов развития;
- разрыв между проектированием и эксплуатацией — утвержденный генплан не предусматривает обратной связи от реальных процессов, происходящих на территории после реализации;
- недостаточную экологическую проработку — экологические требования в традиционном генплане, как правило, сводятся к соблюдению нормативных показателей (процент озеленения, санитарно-защитные зоны) без учета системных эффектов: ветровых коридоров, тепловых островов, сохранения биоразнообразия, гидрологического баланса;

- низкую интеграцию данных — архитектурные, инженерные и экологические решения разрабатываются изолированно, что приводит к внутренним противоречиям и снижает общую эффективность проекта. [1]

Кроме того, к числу значимых недостатков следует отнести отсутствие в традиционном генплане механизмов обратной связи: после утверждения документа нет инструментов для проверки, насколько реализованные решения соответствуют заложенным экологическим показателям, и, следовательно, нет возможности для своевременной корректировки.

Эти ограничения становятся критическими в условиях нарастающих климатических рисков и усложнения городских систем. Город перестал быть объектом, который можно «спроектировать один раз и навсегда». Он превратился в сложную саморегулирующуюся систему, требующую иных подходов к планированию.

Параллельно с осознанием ограничений традиционного подхода развивались технологии, способные эти ограничения преодолеть. Цифровая трансформация градостроительства выражается в появлении и распространении трех ключевых классов инструментов.

Геоинформационные системы (GIS). GIS позволяют собирать, хранить, анализировать и визуализировать пространственные данные. Применительно к генплану это означает возможность работать с большими массивами информации о рельефе, почвах, гидрологии, существующем озеленении, инженерных сетях и социальной инфраструктуре. GIS-аналитика дает возможность оценивать территорию до начала проектирования, выявлять ограничения и потенциал, моделировать последствия градостроительных решений [4].

Информационное моделирование (BIM). Если традиционно BIM ассоциировался с моделированием отдельного здания, то сегодня активно развивается направление BIM для инфраструктуры и территорий. Информационная модель территории объединяет в едином цифровом пространстве архитектурные объекты, инженерные сети, дорожную сеть и элементы благоустройства. Это позволяет выявлять коллизии на ранних стадиях, управлять стоимостными показателями и создавать основу для эксплуатации.

Технологию цифровых двойников (Digital Twins) тоже стоит рассмотреть отдельно. Сейчас это, наверное, одно из самых перспективных направлений. По сути, речь идёт о том, чтобы создать динамическую цифровую копию реального города. Такая копия не просто показывает территорию в 3D — она постоянно подтягивает актуальные данные: с датчиков, систем экологического мониторинга и даже от жителей.

Тут важно не путать два типа моделей. Информационная модель (BIM) — это проект «как должно быть». Её делают до начала стройки, и она не меняется, пока в неё специально не внесут правки. А цифровой двойник — это модель «как есть на самом деле». Он в реальном времени получает данные с датчиков: температура, загрязнение воздуха, уровень шума. И благодаря этому экологические показатели перестают быть просто обещаниями на бумаге — их можно проверять здесь и сейчас.

Важно подчеркнуть, что перечисленные технологии работают не по отдельности. Их ценность раскрывается именно при объединении в единую цифровую среду. Геоинформационные системы дают исходные данные о территории — рельеф, гидрологию, почвы, существующее озеленение. Информационное моделирование позволяет превратить эти данные в проектную модель, где уже расставлены здания, дороги и сети. А цифровой двойник, в свою очередь, принимает эту модель и наполняет её данными из реальной жизни — показателями датчиков, результатами мониторинга, обратной связью от жителей.

Такая связка создаёт принципиально новую логику работы с генеральным планом. Раньше документ разрабатывали, утверждали и больше к нему не возвращались до следующей крупной корректировки. Теперь появляется возможность вести планирование как непрерывный процесс. Генплан перестаёт быть статичным чертежом и превращается в систему, которая может реагировать на изменения — климатические, экологические, социальные.

Кроме того, интеграция инструментов снимает проблему противоречий между разделами проекта. Когда архитекторы работают в своей программе, инженеры — в своей, а экологи готовят отдельное заключение, неизбежны несогласованности. В единой цифровой модели все изменения одного из участников автоматически видны остальным. Это ускоряет принятие решений и снижает риск ошибок, которые на поздних стадиях обходятся дорого.

В настоящее время технология искусственного интеллекта уже находит практическое применение в разработке и корректировке генеральных планов как в России, так и за рубежом. Наиболее показательным отечественным примером является опыт Московской области, где с 2025 года Мособлархитектура внедрила инновационный проект по использованию ИИ при подготовке документов территориального планирования.

Суть внедренного решения заключается в том, что большие языковые модели (LLM) анализируют и систематизируют текстовые данные, содержащиеся в проектах изменений генеральных планов, а специализированные модули на основе ИИ обеспечивают визуализацию пространственных предложений.

Особого внимания заслуживает применение аналогичного ИИ-решения для подготовки документов во ФГИС ТП — федеральной государственной информационной системе территориального планирования, которая используется для согласования проектов генеральных планов с федеральными органами власти и Минэкономразвития РФ. Если ранее подготовка необходимого пакета документов занимала до пяти рабочих дней, то теперь эта процедура сокращается до нескольких минут.

Обратимся к зарубежному опыту. Очень показателен в этом смысле проект District 11 в Шарадже (ОАЭ), где архитектурное бюро HWKN использовало искусственный интеллект на всех этапах разработки мастер-плана коммерческого района. ИИ применялся для генерации объемно-планировочных вариантов, тестирования параметров затенения и моделирования воздушных потоков — критически важных параметров для города, где летние температуры превышают 45°C. ИИ позволил ускорить процесс проектирования: то, что традиционно заняло бы месяцы, было выполнено за несколько дней. Этот пример наглядно показывает: с помощью ИИ при разработке генпланов можно решать самые разные задачи. Начиная с автоматического анализа текстов и визуализации данных и заканчивая тем, что нейросеть сама генерирует возможные варианты планировки и подбирает оптимальные решения с учётом климата.



Рисунок 1 - Проект District 11 в Шарадже

Важно подчеркнуть, что искусственный интеллект в данном контексте не заменяет проектировщика, а выступает в роли инструмента поддержки принятия решений. В отличие от традиционных расчётных программ, работающих по жёстко заданным алгоритмам, ИИ способен выявлять неочевидные взаимосвязи между параметрами застройки и экологическими последствиями, а также предлагать компромиссные решения, которые сложно получить методами перебора вручную.

Включение экологических требований в генеральный план требует перехода от декларативных принципов к конкретным, измеримым параметрам, которые могут быть заложены в цифровую модель территории. В документах территориального планирования постсоветского периода во многом был утрачен пласт эколого-ориентированного планирования, существовавший в СССР в виде территориальных комплексных схем охраны природы (терКСОП), разрабатываемых на 20-25 лет [2]. Восстановление этой составляющей на новой технологической базе является одной из актуальных задач современного градостроительства.

Ключевым понятием здесь выступает природно-экологический каркас территории — система взаимосвязанных природных и озелененных территорий, обеспечивающая экологическую устойчивость города. Формирование такого каркаса должно начинаться на этапе разработки генплана с помощью GIS-

аналитики, позволяющей выявлять существующие зеленые массивы, водотоки, рельеф и определять коридоры для их связывания.

Чтобы экологические требования можно было заложить в цифровую модель, их полезно разделить на три уровня в зависимости от того, как они работают. Первый уровень — запреты. Это то, что делать нельзя: строить жилые дома в зонах подтопления или на месте особо охраняемых природных территорий. Такие ограничения компьютер может проверять автоматически. Второй уровень - нормативы. Это то, что должно быть соблюдено: определённый процент озеленения или допустимый уровень шума. Их выполнение отслеживает цифровой двойник. Третий уровень - системные эффекты. Это сложные вещи вроде того, как застройка влияет на проветривание города или на связность парков. Здесь без искусственного интеллекта уже не обойтись, потому что такие эффекты не сводятся к простым цифрам.

При интеграции экологии в генплан рекомендуется учитывать следующие направления:

1. Учет климатических факторов. Генплан должен учитывать розу ветров для обеспечения естественной вентиляции застройки, инсоляцию для комфортного освещения общественных пространств, а также зоны потенциального подтопления для исключения строительства в них жилых объектов.
2. Восстановление испорченных территорий. В генплане можно выделить специальные зоны, где старые заводские территории будут не просто застраиваться, а сначала очищаться (рекультивироваться) и возвращаться к естественному виду. Также важно предусмотреть места для компенсационного озеленения — когда зелени становится больше там, где её не хватает.
3. Формирование системы мониторинга экологического состояния территории. Цифровой двойник города, интегрированный с данными датчиков качества воздуха, уровня шума, состояния водных объектов, позволяет не только фиксировать текущие показатели, но и прогнозировать их изменение в зависимости от реализации тех или иных градостроительных сценариев [3].

Чтобы применить все перечисленные подходы на практике, мало просто принять новые нормативные документы, хотя это тоже немаловажно. Главная задача — это сделать так, чтобы при разработке генпланов работали вместе специалисты из разных областей и ведомств. Задачу создания экологичного города не должен решать один Минстрой — к ней нужно подключать Минприроды, а также региональные и местные власти.

Заключение. Долгое время генплан создавался как финальный, неизменяемый документ — утвердили, и забыли на 20–30 лет. Но город не стоит на месте. Меняется климат, растёт плотность застройки, люди иначе пользуются пространством. Старый план этому не отвечает. Экологическая часть в таких документах чаще всего формальная: проценты озеленения и санитарные зоны — без учёта ветра, тепловых островов или реальной связности парков. А когда проблемы проявляются, исправлять их уже нечем.

Сегодня есть технологии, которые способны эту ситуацию переломить. Геоинформационные системы позволяют собрать и проанализировать данные о территории до того, как начнётся проектирование. Информационное моделирование (BIM) на уровне районов и кварталов объединяет архитектуру, сети и рельеф в одной цифровой среде. Цифровые двойники дают возможность отслеживать состояние воздуха, шума, погоды в реальном времени и корректировать решения. По отдельности эти инструменты полезны, но настоящий эффект они дают только в общей сложности.

В Московской области с 2025 года ИИ помогает готовить документы территориального планирования: система обрабатывает тексты и сразу показывает, как изменится карта. Согласование, которое раньше занимало дни, теперь укладывается в минуты.

Чтобы экологические требования не оставались на бумаге, их нужно переводить в измеримые параметры и закладывать в цифровую модель территории. В работе предлагается несколько направлений: учёт климатических факторов (ветер, солнце, зоны подтопления), восстановление нарушенных земель с рекультивацией и компенсационным озеленением, а также мониторинг через цифровые двойники.

Таким образом, цифровая трансформация генерального плана меняет сам подход к планированию.

Раньше экологические требования были просто пунктами в документе, их формально учитывали, но не проверяли в работе. Теперь же экологические параметры становятся основой проекта: их постоянно отслеживает цифровой двойник города, а специальные программы на базе ИИ помогают находить лучшие решения. Но для этого мало внедрить технологии — нужно ещё изменить строительные правила, чтобы генплан можно было оперативно корректировать по мере необходимости, а не раз в 20-30 лет.

Список использованных источников:

1. Раев Юрий Викторович Предпосылки формирования системы пространственного планирования территории страны // Academia. Архитектура и строительство. 2025. №4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/predposylki-formirovaniya-sistemy-prostranstvennogo-planirovaniya-territorii-strany (дата обращения: 29.04.2026).
2. Спирин, П. П. Эколого-ориентированное планирование в градостроительстве / П. П. Спирин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2025.
3. Тойчер, Д. Городской цифровой двойник, интегрирующий метеорологические данные в реальном времени и моделирование CFD для мониторинга качества воздуха и адаптивного планирования / Д. Тойчер, Ф. Букреев, А. Куммерлендер, С. Симонис, П. Бахлер, А. Резаи, М. Хермансдорфер, М. Дж. Краузе // Строительство и окружающая среда. — 2025.
4. Ямашкин А.А., Ямашкин С.А., Шабайкина В.А., Зарубин О.А., Кирюшин А.В. Геоинформационное моделирование метагеосистем города для принятия управленческих решений в сфере экологии // Успехи современного естествознания. 2023. № 8. С. 76-85.

УДК 72:551.4
67: Строительство. Архитектура

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ВЫБОР АРХИТЕКТУРНОГО РЕШЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЮБК, ОПИРАЯСЬ НА ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Яковенко Наталья Евгеньевна
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского», старший преподаватель, научный руководитель кафедры «Градостроительства и архитектуры»
e–mail: natiknet2@mail.ru

Климчук София Александровна
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского», студент
e–mail: SofiKlimchuk@yandex.ru

Крутизна склонов – один из основных факторов, влияющих на благоприятность территорий для застройки. На равнинах возможна четкая, регулярная планировка, на местности с наклонным рельефом наилучшим типом застройки является свободный. Влияние рельефа на строительство можно проследить на примере улиц, так траектория становится изогнутой, чтобы соответствовать перепадам высот. До определенного значения уклона удается использовать регулярность размещения зданий, адаптируя их конструкцию традиционными методами. Но по мере увеличения крутизны склона применение стандартных решений становится проблематичным: чем круче и длиннее склон, тем сильнее выражен перепад высот между сторонами здания, что создает инженерные сложности [1].

Особенности рельефа местности влияют на такие аспекты градостроительства как: размещение зданий на склонах, заложение коммуникаций по пересечённой местности, обеспечение комфортного микроклимата, достижение гармоничного архитектурного облика, снижение затрат на реализацию проектов. Для комплексного учёта данных нужен творческий подход архитекторов и градостроителей, обеспечивающих сочетание оригинальных решений с нормативами и научно обоснованными методиками. Это делает актуальной задачу градостроительной науки: систематизация существующего опыта и создание развёрнутой теоретико–методической базы для эффективного освоения территорий со сложным рельефом (с учётом всех его специфических особенностей) [2].

Пригодность территории по условиям рельефа, для размещения таких зданий как общественные, жилищные и промышленные, определяется уклонами выбранной территории. Таким образом можно выделить [4]:

- Благоприятные: уклон местности от 5 до 100 ‰ (для жилых и общественных зданий), уклон местности от 3 до 50 ‰ (для территории промышленных предприятий) [4].,

-Неблагоприятные: для жилых и общественных зданий уклон местности менее 5 и от 100 до 200 ‰ (в горной местности до 300 ‰), для территории промышленных предприятий уклон местности менее 3 и от 30 до 50 ‰ [4].,

-Особо неблагоприятные: для жилых и общественных зданий уклон местности более 200 ‰ (в горной местности более 300 ‰), для территории промышленных предприятий уклон местности без уклона и более 50 [4].

Опираясь на уровень удобства застройки территории, выделяют различные способы посадки здания на рельеф. Рассмотрим некоторые из них:

1. Традиционный дом, спроектированный для равнинной местности (Рисунок 1). Неприспособлен к строительству на склонах, большое количество типовых решений и массовое строительство способствуют достижению экономичности строительства [3].

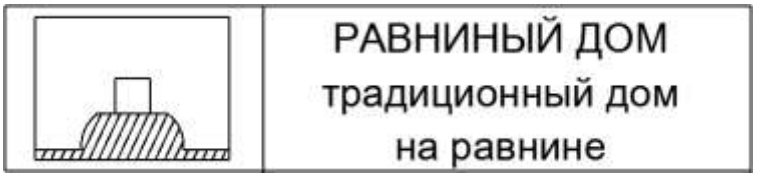


Рисунок 1 – Равнинный дом

2. Заглублённые дома — это здания, которые целиком или частично размещаются в грунте (Рисунок 2). Данный тип дома лучше располагать на местности южных склонов с уклоном от 30 градусов. В таком случае весь дом, за исключением фасада, располагается под землей, что обеспечивает свободный придомовой участок. Данный тип жилья позволяет более эффективно использовать неблагоприятную территорию и не противоречит пейзажу окружающей среды. При этом создается хорошая теплоизоляция, но нужно организовать хорошую систему водоотвода и обеспечить несущую способность здания [3].

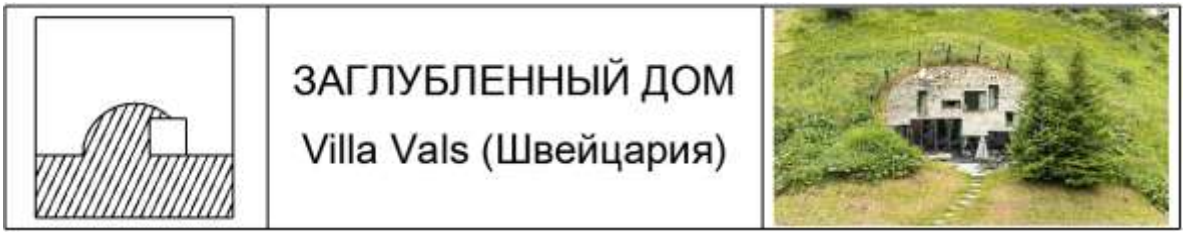


Рисунок 2 – Заглубленный дом

3. «Дом на курьих ножках» (на сваях) (Рисунок 3). Дом, опора которого занимает незначительное пространство по отношению к общему объему. Площадь соприкосновения с земной поверхностью мала, что позволяет строительство на северных склонах и в местах с густой растительностью. Возможно размещать на территории с неблагоприятным уклоном [3].

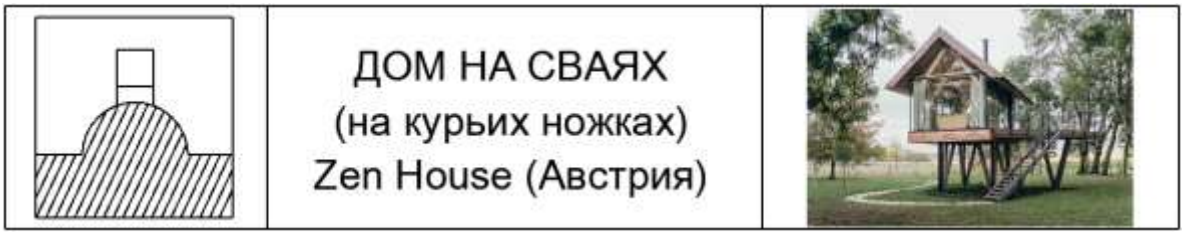


Рисунок 3 – Дом на сваях

4. Консольное здание – в основе конструктивного решения лежат консольные схемы крепления с жёсткой фиксацией несущей конструкции с одной стороны и свободным вылетом с противоположной (Рисунок 4). Такой тип строительства используется на территориях с сильными перепадами рельефа. Образовывающиеся пространства над домом и под ним можно также использовать, преобразовывая в зоны отдыха, стоянок для автомобилей и т.д. С экономической точки зрения такие конструктивные решения ведут к значительному удорожанию строительства [3].



Рисунок 4 – Консольный дом

5. Террасный дом – архитектурное сооружение (отдельное здание или комплекс), сформированное по принципу ступенчатой композиции: блоки размещаются уступами со смещением относительно друг друга в горизонтальной плоскости (Рисунок 5). Повышает плотность застройки, что является выгодным в условиях нехватки территории под строительство, при этом не в ущерб комфорта проживания, так как террасы используются как придомовые участки [3].



Рисунок 5 – Террасный дом

6. Дом-мост (Рисунок 6). Дом, возведенный через реку, озеро, овраг, пролив и т. д. Такой способ объединяет пространства, возникающие под действием тех или иных природных факторов (два холма, овраг, два берега). Данный тип строительства подразумевает анализ территории на пригодность строительства [3].

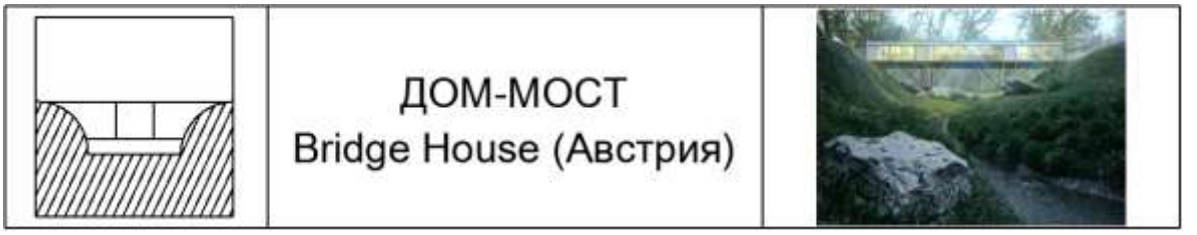


Рисунок 6 – Дом–мост

7. Комбинированный дом (Рисунок 7). Может сочетать свойства всех вышеперечисленных типов домов, комбинируя их в зависимости от ситуации на местности. Данный тип строительства влияет на образование необычных архитектурных решений.[3]



Рисунок 7 – Комбинированный дом

Для успешной адаптации и внедрения инновационных методов строительства в условиях сложного рельефа Южного берега Крымского полуострова требуется проведение комплексного анализа современных зарубежных разработок в данной области.

1. Архитектурный проект NCaved House, разработанн бюро Mold Architects, дом, исчезающий в ландшафте. Объект расположен на острове Серифос (Греция), год завершения строительства — 2020.

Архитектурная композиция NCaved House включает три функциональных уровня: верхний отведён под спальни владельцев, средний объединяет гостиные зоны и столовую, нижний предназначен

для гостевых помещений. Связь между уровнями обеспечивается системой лестниц. Внутренние каменные стены формируют чёткое зонирование пространства, выделяя отдельные комнаты, патио и террасы. По оценке архитекторов, подобная планировка создаёт эффект «трёхмерной шахматной доски», где игра света и тени становится важным эстетическим элементом. Особое внимание уделено организации вертикального движения: плавный спуск вглубь дома постепенно раскрывает скрытые пространства, формируя двойственную визуальную композицию. При спуске открывается панорама моря, при подъёме – вид на облака (Рисунок 8).

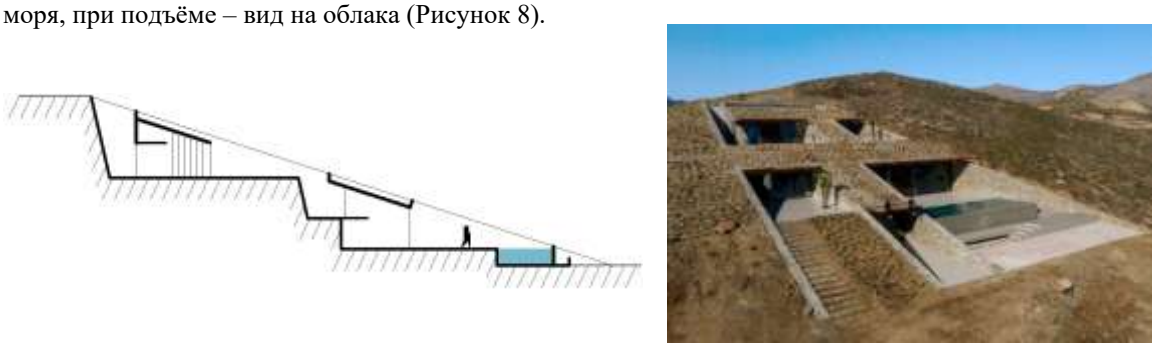


Рисунок 8 – NCaved House

2. Резиденция Casa Bedolla, построена архитектурным бюро P+0 Arquitectura и расположена в Эль-Хонуко (штат Нуэво-Леон, Мексика). Была завершена в 2017 году. Объект размещён на участке со сложным рельефом – между горными массивами, в окружении кедров и дубов.

Архитектурная композиция состоит из двух объёмов, размещённых на разных уровнях склона с применением кантилеверных конструкций. Пространственная организация предусматривает функциональное разделение. Так один объём отведён под частные помещения, другой — под общественные зоны (Рисунок 9).

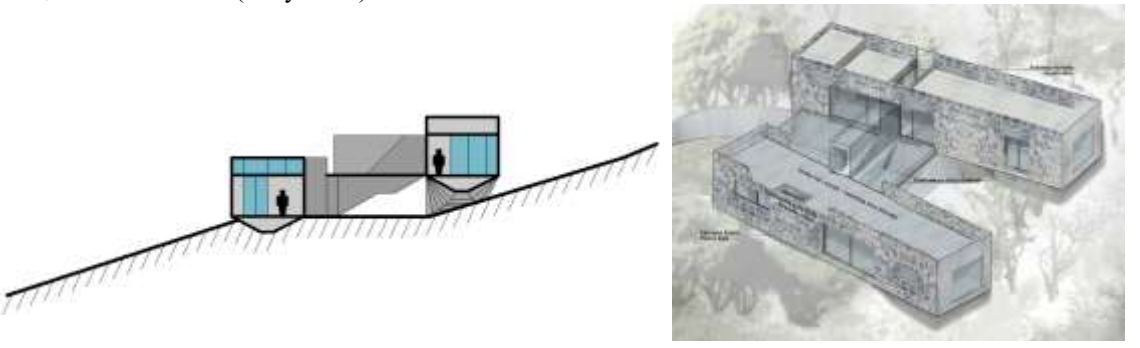


Рисунок 9 – Casa Bedolla

3. Жилой дом Casa Ghat, спроектирован чилийским архитектурным бюро Max Núñez Arquitectos. Находится в регионе Качагуа (Cachagua) – примерно в двух часах езды к северу от Сантьяго. Здание возведено на крутом склоне с видом на Тихий океан в 2015 году.

Рельеф участка с уклоном около 25 градусов оказал непосредственное влияние на архитектурную концепцию. Авторы реализовали решение, органично интегрированное в ландшафт. Конструкцию поддерживают 15 бетонных колонн различной формы, которые являются непрерывными и размещены внутри объёма здания. Это позволило реализовать непрерывность внешнего остекления по всем углам. Обширная крыша повторяет уклон участка, подчёркивая единство архитектуры и природного рельефа (Рисунок 10).



Рисунок 10 – Casa Ghat

4. Residência Cais / SAA arquitectura + territorio. проект архитектурного бюро SAA Arquitectura + Territorio, построенный в 2018 году. Здание построено на структурном деревянном цоколе и диагональных деревянных столбах, закреплённых на бетонных фундаментах. Столбы становятся выше по мере спуска участка, самый высокий достигает 3,75 метра. Внешние стены, колонны и балки выполнены из сосны. Пространство, разделённое деревянной террасой с решётчатым навесом, делится на две зоны (жилая и гостевая). В интерьерах преобладает дерево с медовым оттенком, что создаёт тёплую и уютную атмосферу (Рисунок 11).

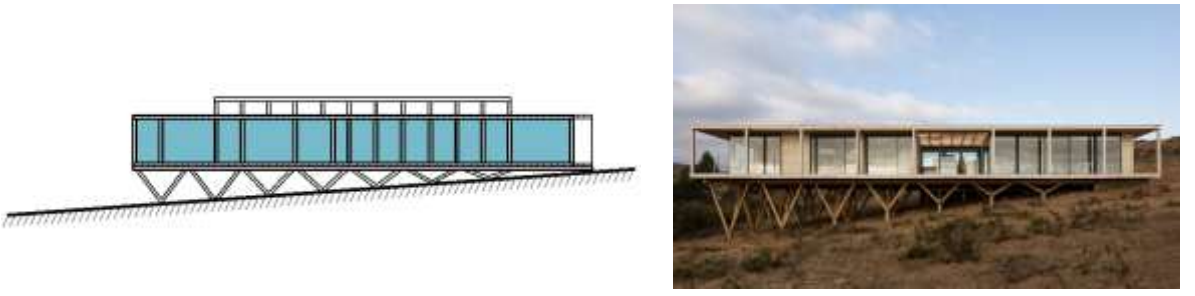


Рисунок 11 – Residência Cais / SAA arquitectura + territorio

5. Резиденция Casa RPFV, спроектированная бюро NoArq, находится в Санту Тирсу (Португалия) и построена в 2019 году. Общая площадь объекта составляет 643 м². Здание организовано на трёх уровнях, каждый из которых имеет свое функциональное назначение.

Здание выполнено полностью из железобетона с облицовкой тёмным сланцем. Постройка следует морфологии ландшафта, избегая формирования городского фасада. Такой подход подчёркивает связь здания с окружающей средой, формируя гармоничный архитектурный облик. (Рисунок 12).

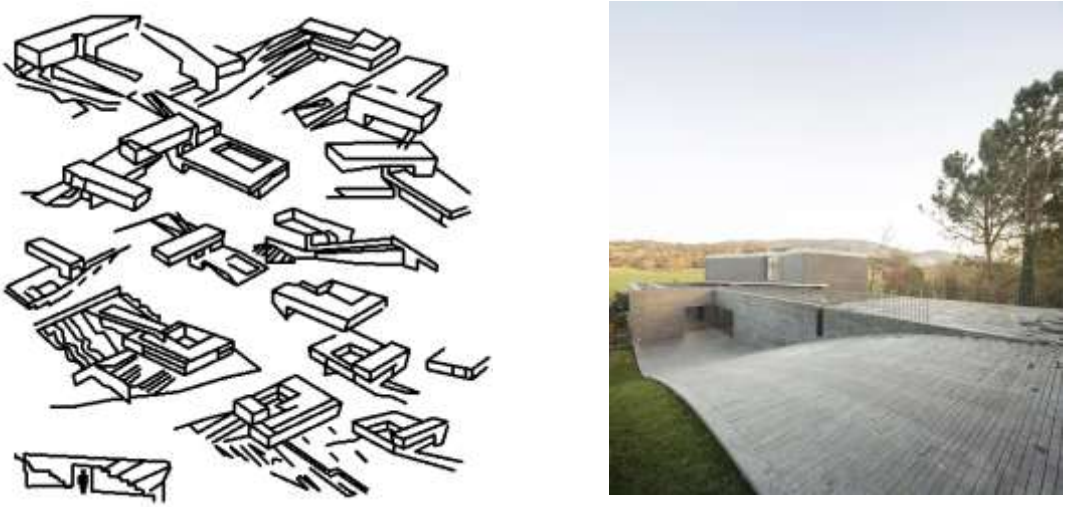


Рисунок 12 – Casa RPFV

Список использованных источников:

1. Головатенко В. Г. Проблемы проектирования жилых зданий на сложном рельефе в современном мире / Вестник науки. №7 (76). Том 1. – 2024. – 704–708 с.
2. Градостроительство на склонах / В. Р. Крогиус, Д. Эббот, К. Поллит и др.; под ред. В. Р. Крогиуса. – М.: Стройиздат. – 1988. – 328 с.
3. Суворов В. О. Типология объемно-планировочных решений жилища для территорий со сложным рельефом / В. О. Суворов // Архитектон: известия вузов № 3(47). – 2014. – 7 с. – EDN SPKPUB.
4. Разживин, В. М. Вертикальная планировка городских территорий: учеб. пособие по курсовому проектированию / В. М. Разживин, О. Л. Викторова, Л. Н. Петрянина; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю. П. Скачкова; Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва. – Пенза : ПГУАС. – 2014. – 92 с.

УДК 712.4
67.01.00: Архитектура. Градостроительство. Дизайн.

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ: ТЕНДЕНЦИЯ ИЛИ НЕОБХОДИМОСТЬ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Яковенко Наталья Евгеньевна,
*ФГАОУ ВО «*Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского*», старший преподаватель, научный руководитель кафедры «Градостроительства и архитектуры»*
e-mail: natiknet2@mail.ru

Кравченко Лилия Витальевна
*ФГАОУ ВО «*Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского*», студент*
e-mail: lilya.kravchenko.05@mail.ru

Одна из важнейших задач градостроительства — создание и поддержание такой городской среды, которая обеспечивала бы безопасные и комфортные условия для проживания человека, не нарушая экологического равновесия окружающей природы. Однако в связи с тенденцией развивающихся городов к уплотнению городской застройки, интенсивному увеличению общей площади городов и повышению уровня автомобилизации городская среда становится все менее пригодной для человека и все более разрушительной для окружающей экосистемы, исключая ее способность к самовосстановлению.

В современном мире, где урбанизация неуклонно расширяется, вопросы экологической устойчивости и комфорта городской среды приобретают все большую актуальность. Одним из перспективных направлений в решении этих задач является вертикальное озеленения фасадов и озеленение кровель. Данный метод позволяет интегрировать природные элементы в структуру зданий, создавая не только эстетически привлекательные, но и функциональные пространства.

Дискуссионным остается вопрос о том, следует ли рассматривать вертикальное озеленение как модную архитектурную тенденцию, характерную для «зеленых» премиальных проектов, или же как необходимое условие устойчивого развития городов. Ответ на этот вопрос имеет не только теоретическое, но и практическое значение, определяя подходы к градостроительному регулированию, проектированию и эксплуатации зданий.

Особый интерес в данном контексте представляет Республика Крым. Полуостров характеризуется переходным от умеренного к субтропическому типом климата, продолжительным летним периодом, высокой инсоляцией и, как следствие, повышенными требованиями к теплозащите зданий.

Таким образом, целью настоящего исследования является теоретико-аналитическое обоснование необходимости применения вертикального озеленения в городской застройке с выделением условий, при которых данная технология переходит из разряда тенденций в разряд архитектурно-строительной необходимости. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: систематизация типов систем вертикального озеленения, анализ их экологических и экономических эффектов на основе российских исследований, выявление нормативно-правовых аспектов внедрения, а также оценка потенциала адаптации данной технологии для Республики Крым на примере восточной, южной и западной частях.

В современной научной и проектной литературе вертикальное озеленение классифицируется по конструктивным особенностям и принципам организации растительного слоя. Наиболее устоявшейся является типология, выделяющая основные категории систем: зеленые фасады и живые стены, которые,

в свою очередь, подразделяются на несколько подвидов [9].

До недавнего времени внедрение систем вертикального озеленения в России сдерживалось отсутствием стандартизированных технических и экологических требований. Ситуация изменилась с утверждением и введением в действие с 1 мая 2024 года национального стандарта ГОСТ Р 71332-2024 «Зеленые стандарты. Вертикальное озеленение фасадов зданий и сооружений. Технические и экологические требования».

Стандарт определяет область применения вертикального озеленения, устанавливает качественные и количественные требования к конструкциям, агротехническим решениям и обеспечению пожарной безопасности. Важным нововведением является положение о том, что площадь вертикального озеленения должна включаться в состав зеленых насаждений при подсчете баланса территории объекта капитального строительства. Это создает правовой механизм для компенсационного озеленения в условиях плотной застройки. ГОСТ Р 71332-2024 также содержит примерный ассортимент растений, пригодных для формирования «зеленых» фасадов в различных климатических зонах РФ. Появление стандарта, по мнению экспертов, стимулировало интерес застройщиков к технологии, которая перестала быть «убыточной» и превратилась в инструмент повышения привлекательности объектов [3].

Вертикальное озеленение выполняет важнейшую терморегулирующую функцию. Зеленый фасад снижает солнечную радиацию, поступающую на ограждающие конструкции, и благодаря процессам эвапотранспирации (испарению влаги растениями) обеспечивает охлаждение поверхности стены. Согласно исследованиям, живые стены в целом обеспечивают более высокие показатели энергоэффективности по сравнению с зелеными фасадами, однако последние демонстрируют более устойчивый положительный экономический эффект при учете затрат. В австрийских нормативных документах отмечается, что растительный слой в сочетании с воздушной прослойкой улучшает теплоизоляционные свойства фасада и способствует буферизации влажности [3].

Растения, используемые в системах вертикального озеленения, эффективно улавливают пыль, поглощают диоксид углерода и некоторые газообразные загрязнители, способствуя улучшению качества воздуха. С акустической точки зрения зеленые фасады снижают отражение звука от стен зданий. Как показывают исследования, в зависимости от типа системы и плотности растительного покрова уровень звукового давления может быть снижен до 10 дБ [2]. Эта функция особенно востребована в условиях многоэтажной застройки и вблизи транспортных магистралей.

Системы вертикального озеленения создают новые ниши для обитания насекомых, птиц и других мелких животных, способствуя повышению городского биоразнообразия. Интересно, что в данном аспекте простые зеленые фасады могут превосходить более сложные живые стены. Эстетическая функция вертикального озеленения не менее значима: зеленые стены позволяют за 3-5 лет придать зданиям своеобразный облик, подчеркнуть региональную специфику и смягчить визуальное воздействие монотонной застройки.

Несмотря на появление ГОСТа, внедрение вертикального озеленения в России сталкивается с рядом проблем. Главный барьер — суровые и различные климатические условия. Резкие перепады температур, промерзание грунта в контейнерах, ветровые нагрузки требуют разработки специализированных конструктивных решений и тщательного подбора ассортимента растений. Ландшафтные дизайнеры отмечают [7], что распространенные в Сингапуре или Европе вечнозеленые композиции непригодны для российской зимы, поэтому необходим длительный этап тестирования жизнеспособности видов в различных климатических зонах РФ. К другим барьерам относятся высокая стоимость оборудования (автоматические системы полива, гидроизоляция, корнезащитные мембраны и т.д.), риски повреждения фасадов корнями и сложность обеспечения пожарной безопасности, особенно на высотных зданиях. Еще немаловажным является и отсутствие достаточного количества квалифицированных специалистов по эксплуатации таких систем (обрезка, зимняя консервация, борьба с вредителями).

Республика Крым обладает значительным по регионам потенциалом для внедрения систем вертикального озеленения, но со своими особенности и сложностями. Климатические особенности полуострова варьируются от умеренно-континентального на равнинной части до субтропического на Южном берегу, что напрямую влияет на выбор технологии и ассортимента растений.

Южный берег Крыма (Ялта, Алушта, Гурзуф) характеризуется мягкой зимой и жарким сухим летом. Здесь возможно применение наиболее широкого спектра систем — от войлочных живых стен с суккулентами до модульных систем с вечнозелеными субтропическими видами (плющ, лавр, розмарин). Высокая инсоляция требует обязательного включения в систему автоматического капельного полива с датчиками влажности. Однако дефицит пресной воды в регионе ставит задачу использования систем сбора и повторного использования дренажных вод.

Западное побережье (Евпатория, Саки, Севастополь) отличается степным климатом с жарким летом, сильными ветрами и засоленностью почв. Здесь предпочтение следует отдавать непрямым

зеленым фасадам с использованием ветро- и солеустойчивых лиан (девичий виноград, жимолость каприфоль). Конструкции должны обладать повышенной механической прочностью для противостояния штормовым ветрам.

Восточный Крым (Керчь, Феодосия) характеризуется умеренным климатом с частыми засухами и ветрами. Приоритетным является применение контейнерных систем с использованием местных засухоустойчивых многолетников. Требуется обязательная ветрозащита и организация зимнего укрытия для теплолюбивых видов [1,5].

«Потенциал вертикального озеленения в регионах Крыма» представляет собой сравнительный аналитический инструмент, который показывает различные подходы внедрения технологий вертикального озеленения в зависимости от географической локации внутри полуострова. В таблице систематизированы шесть ключевых критериев для трех регионов: Южного берега Крыма (на примере Ялты), Западного побережья (на примере Севастополя) и Восточного Крыма (на примере Керчи).

Ранее уже была дана краткая характеристика данных районов. Таблица 1 в свою очередь дает нам возможность подробнее проанализировать каждый из них. Рассматривая потенциал вертикального озеленения в Крыму, можно заметить, что каждый из районов достаточно сильно отличается друг от друга, что в свою очередь, это дает понимание использование какого озеленения требуется, какие виды растений, риски и так далее.

Таблица 1

Потенциал вертикального озеленения в регионах Крыма

Критерий	Южный берег (Ялта)	Западное побережье (Севастополь)	Восточный Крым (Керчь)
Климатическая зона	Субтропический (влажный)	Умеренно-континентальный (степной)	Умеренный (засушливый)
Ключевые риски	Дефицит воды, высокая инсоляция	Сильные ветры, засоление	Засухи, ветры, перепады температур
Рекомендуемые типы систем	Живые стены (модульные/гидропонные)	Непрямые зеленые фасады (сетки/тросы)	Контейнерные системы (автономные)
Ассортимент растений	Плющ, суккуленты, лавр, розмарин	Девичий виноград, жимолость, партреноциссус	Виноград амурский, клематис, местные многолетники
Необходимость автоматического полива	Критически высокая	Средняя (зависит от вида)	Высокая (в засушливый период)
Туристический потенциал	Очень высокий (эстетика, брендинг)	Высокий (зоны отдыха, спа-центры)	Средний (исторические зоны)

Проведенный анализ и сравнительная оценка потенциала регионов Республики Крым позволяют сформулировать следующие выводы:

Вертикальное озеленение в условиях городской застройки Крыма выходит за рамки эстетической модернизации и архитектурного тренда. В контексте высоких тепловых нагрузок на ограждающие конструкции, характерных для полуострова, данная технология приобретает статус функциональной необходимости для повышения энергоэффективности зданий и улучшения микроклимата, что подтверждается описанными терморегулирующими и акустическими эффектами.

Анализ таблицы демонстрирует, что единый подход к внедрению систем вертикального

озеленения в Крыму недопустим. Стратегия озеленения требует строгой климатической привязки: если для Южного берега Крыма оправдано применение капиталоемких «живых стен» с высоким уровнем автоматизации и брендинга, то для засушливых и ветреных районов Западного и Восточного Крыма приоритет следует отдавать более устойчивым и экономически целесообразным непрямым зеленым фасадам и контейнерным системам на основе аборигенной флоры.

Основным сдерживающим фактором, остается дефицит водных ресурсов в сочетании с экстремальными погодными нагрузками (ветер, засоление). Следовательно, для перехода вертикального озеленения из разряда «тенденции» в разряд «архитектурно-строительной необходимости» требуется разработка и нормативное закрепление специализированных технических решений по влагоудержанию, повторному использованию дренажных вод и ветрозащите, адаптированных под регионы Крыма.

Введение в действие ГОСТ Р 71332-2024 создает правовую основу для включения вертикального озеленения в баланс территории застройки. В условиях высокой инвестиционной привлекательности курортных зон Крыма, это открывает реальные экономические перспективы для компенсационного озеленения в плотной застройке, однако требует форсированной подготовки квалифицированных кадров по эксплуатации данных систем в специфических крымских условиях.

Представленный выше теоретический анализ продемонстрировал, что вертикальное озеленение в климатических условиях Крыма перерастает из категории архитектурного тренда в функциональную необходимость, поддерживаемую нормативной базой в лице ГОСТ Р 71332-2024. Однако любое теоретическое утверждение требует количественной верификации. Ключевой вопрос практической части настоящего исследования формулируется следующим образом: способно ли вертикальное озеленение фасадов обеспечить статистически значимый прирост площади зеленых насаждений на одного жителя без изменения планировочной структуры квартала и без увеличения пятна застройки?

Для ответа на этот вопрос выполнено градостроительное моделирование на примере студенческого проекта жилого квартала в Западном Крыму (рисунок 1, 2). Выбор локации обусловлен климатической спецификой региона: степной климат, высокая инсоляция западных фасадов, дефицит водных ресурсов и сильные ветровые нагрузки — именно те факторы, которые, согласно выводам теоретической части, переводят вертикальное озеленение из разряда «желательного» в разряд «необходимого».



Рисунок.1 Проект жилого квартала (жк на примере) без вертикального озеленения

а) б)





Рисунок.2 а), б) - Проект жилого квартала (жк на примере) с внедрением вертикального озеленения

Таблица 2

Исходные технико-экономические показатели до внедрения вертикального озеленения:

№	Наименование	Значение
1	Количество жителей	1500 чел.
2	Количество секций	26 шт.
3	Общая площадь квартала	5,2 га
4	Общая площадь застройки	1,1 га
5	Площадь твердых покрытий	1,9 га
6	Площадь зеленных насаждений	2,3 га

На основе этих данных определим базовый показатель обеспеченности зелеными насаждениями на одного жителя:

$$Soз. = \frac{Sз.н.}{кол-во\ жит.} = \frac{23000}{1300} = 17{,}6\ м^2/чел., \quad (1)$$

где *Soз.* – площадь озеленения на одного человека в квартал, м²/чел.; *Sз.н.*- площадь зеленных насаждений в квартале, м²; *кол-во жит.* – количество жителей в квартале, чел.

Согласно действующим нормативам, для жилой застройки средний показатель должен составлять не менее 16–24 м²/чел., однако для комфортной городской среды рекомендуемые значения существенно выше — до 40–50 м²/чел. с учетом рекреационных зон. Полученное значение (17,6 м²/чел.) входит в минимально допустимый показатель, что в свою очередь требует увеличения площади озеленения в квартале для комфортного проживания в нем и соответствия ГОСТу. Резервы для наращивания зеленых площадей за счет расширения территории двора отсутствуют ввиду плотной застройки.

Методика расчета площади вертикального озеленения

Расчет выполнен в соответствии с ГОСТ Р 71332-2024. Формула расчетной площади вертикального озеленения:

$$Sв.оз = b \times hp \times \eta \times K \times P, Sв.оз = b \times hp \times \eta \times K \times P, \quad (2)$$

где *Sв.оз* — площадь вертикального озеленения, включаемая в баланс территории, м²; *b* — ширина конструкции вертикального озеленения, м; *hp* — высота конструкции (проектируемая высота озеленения), м; η — коэффициент полезности растений по экологическому фактору (приравнен к показателю горизонтального озеленения с покровом до 30 см), η = 0,8; *K* — коэффициент по климатическому фактору. Для Западного побережья Крыма, относящегося ко II климатическому району, K = 0,8; *P* — коэффициент эксплуатационных затрат (учитывает дополнительные расходы на приобретение, поддержание систем, реконструкцию и демонтаж), P = 0,7.

Исходные данные для расчета

Проектом предусмотрено размещение систем вертикального озеленения на всех 26 секциях жилого квартала. Суммарная конструктивная площадь фасадов, отведенных под озеленение, составляет примерно 4311,12 м². В проекте применены комбинированные системы: «зеленые фасады» (шпалеры с лианами) на глухих торцевых стенах и модульные контейнерные системы на простенках западных фасадов с оконными проемами. Ассортимент растений подобран в соответствии с таблицами Б.1–Б.3 ГОСТ Р 71332-2024 с учетом ветро- и засухоустойчивости.

Расчет площади вертикального озеленения

Подставляем суммарную конструктивную площадь в формулу:

$Sв.оз = 4311{,}12 \times 0{,}8 \times 0{,}8 \times 0{,}7 = 1931{,}38$

Итоговая площадь вертикального озеленения, засчитываемая в баланс территории:

$Sв.оз = \sim 1931{,}38 м^2$

Таблица 3

Сводный баланс озеленения после внедрения вертикальных систем

Показатель	До внедрения	После внедрения
Площадь горизонтального озеленения, м²	23000	23000
Площадь вертикального озеленения (расчетная по ГОСТ), м²	0	1 931,38
Суммарная площадь озеленения, м²	23 000	24 931,38
Количество жителей, чел.	1300	1300
Обеспеченность озеленением на 1 жителя, м²/чел.	17,6	19,2

Интерпретация результатов

Прирост суммарной площади озеленения составил:

ΔS=22 931,4−21 000=1 931,4 м²Δ*S*=22931,4−21000=1931,4 м²

В процентном выражении:

$\Delta S_{\%}$=1 931,38×100%=9,3%

Обеспеченность зелеными насаждениями на одного жителя увеличилась на 1,6 м²/чел., с минимальным устройством вертикального озеленения в квартале

Вывод:

Выполненное практическое исследование доказывает, что внедрение вертикального озеленения фасадов способно увеличить показатель обеспеченности зелеными насаждениями без изменения планировочной структуры квартала, без сокращения площади застройки и без изъятия дворовых территорий под дополнительные посадки. Прирост в 1,6 м² на каждого жителя является довольно хорошим результатом, с учетом минимального внедрения вертикального озеленения в застройку, в условиях плотной застройки, особенно с учетом того, что для получения аналогичного эффекта традиционными методами потребовалось бы выделение дополнительного земельного участка площадью порядка 0,2 га, что в условиях сложившейся застройки практически нереализуемо.

Таким образом, вертикальное озеленение фасадов зданий и сооружений, нормируемое ГОСТ Р 71332-2024, переходит из категории архитектурной тенденции в категорию количественно обоснованной градостроительной необходимости, особенно для регионов с высокой плотностью застройки и экстремальными климатическими нагрузками, к которым относится Республика Крым. Правовой механизм включения расчетной площади вертикального озеленения в баланс территории, закрепленный стандартом, создает реальный стимул для застройщиков и открывает перспективы компенсационного озеленения без изменения пятна застройки.

Список использованных источников

1. Берова В. В. Улучшение экологической среды города методом вертикального озеленения существующей застройки. Ассортимент лиан используемых для г. Симферополь / В. В. Берова, Н. Е. Яковенко. // Ландшафтная архитектура и современные тенденции озеленения : сборник научных трудов. — Симферополь, 2023. — С. 15-22. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=58800888
2. Богуславец Е. А., Братошевская В. В. Вертикальное озеленение зданий как метод защиты от шумового загрязнения на урбанизированных территориях // Вестник науки. — 2020. — Т. 1, № 5 (26). — С. 84–87. . — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42766383
3. Вирцев М. Ю. Анализ эффективности применения технологий вертикального и крышного озеленения в жилищном строительстве / М. Ю. Вирцев, А. А. Кульков, А. А. Шафикова. —// Региональные проблемы преобразования экономики. — 2025. — № 12. — URL: http://rppe.ru/new/index.php/rppe/article/view/2984
4. ГОСТ Р 71332-2024. «Зеленые» стандарты. Вертикальное озеленение фасадов зданий и сооружений. Технические и экологические требования. — Введ. 2024-05-01. — Москва : Российский институт стандартизации, 2024. — III, 15 с. — URL: https://internet-law.ru/documents/prod/gost-r_gosudarstvennyj-standart/1/gost_40632.html
5. Дивенко Д.В., Репецкая А.И. Редкие представители культивируемой дендрофлоры г. Севастополя // Экосистемы. 2016. Выпуск 8 (38) с. 36-48— URL: https://ekosystems.cfuv.ru/wp-content/uploads/2017/07/vypusk-N8-38-2016.pdf
6. Коротнева О. С. Сравнительная характеристика систем вертикального озеленения / О. С. Коротнева, А. М. Пешкова // Наука и образование: актуальные вопросы и инновации : материалы национальной научно-практической конференции. — Ростов-на-Дону, 2023. — С. 45-49. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=82502631
7. Кравченко А. В. Анализ мирового опыта вертикального озеленения городской среды и оценка потенциала его адаптации для городов России (на примере Белгорода) / А. В. Кравченко // Научные ведомости Белгородского государственного университета. — 2025. — С. 48-53. — URL: https://greenjournaltver.ru/pages/3707
8. Лейкина, Д., Океанов, Г., & Бенуж, А. (2024). Вертикальное озеленение. Опыт нормирования. *Academia. Архитектура и строительство*, (2), 71–79. — URL: https://doi.org/10.22337/2077-9038-2024-2-71-79
9. Мхитарян К. О. Типология форм вертикального озеленения в городской среде / К. О. Мхитарян // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. — 2017. — № 1 (39). — С. 65-72. — URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=28905531
10. Хуснутдинова А.И., Александрова О.П., Новик А.Н. Технология вертикального озеленения. — Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. СанктПетербург, Политехническая ул., 29. — URL: https://unistroy.spbstu.ru/userfiles/files/2016/12(51)/2_husnutdinova_51.pdf

УДК 712.4
67.01.00: Архитектура. Градостроительство. Дизайн.

ФОРМИРОВАНИЕ «ЗЕЛЕНОГО КАРКАСА» ПРИМОРСКИХ КУРОРТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАК ФАКТОР КЛИМАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И КОМФОРТА РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН

Яковенко Наталья Евгеньевна,
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского», старший преподаватель, научный руководитель кафедры «Градостроительства и архитектуры»
e-mail: natiknet2@mail.ru

Никулин Илья Александрович
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского», студент
e-mail: ilya_nikulin_2005@vk.com

Аппазова Элина Сейрановна
ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный Университет имени В.И. Вернадского», студент
e-mail: appazovaelina610@gmail.com

В современных условиях одной из важнейших задач градостроительства выступает формирование устойчивой городской и рекреационной среды, обеспечивающей высокий уровень комфорта и безопасности при минимальном воздействии на природные экосистемы. В условиях ускоренной урбанизации и интенсивного развития приморских территорий эта задача приобретает еще большую важность. Приморские курортные территории, выступающие основными центрами туризма и рекреации, сталкиваются с одновременным давлением факторов: уплотнением застройки, ростом туристической нагрузки, дефицитом свободных территорий и выраженными климатическими рисками (повышение температуры воздуха, учащение экстремальных погодных явлений).

В условиях изменения климата и растущей рекреационной нагрузки на приморские территории актуальность приобретает формирование непрерывного зеленого каркаса. Зеленый каркас представляет собой систему взаимосвязанных природных и озелененных территорий, основанную на особенностях рельефа, гидрографической сети и существующих зеленых массивов. Он обеспечивает регулирование микроклимата, снижение рисков природных процессов, поддержание биоразнообразия и повышение комфортности рекреационных зон для отдыхающих.

Формирование зеленого каркаса в приморских поселениях Черноморского побережья опирается на использование естественных резервов территории — речных долин, балок, морской акватории, прибрежных склонов и существующих зеленых массивов. Такие подходы позволяют создавать непрерывные системы прогулочных маршрутов, парковых зон и набережных, интегрируя их в единую рекреационно-экологическую структуру.

Ландшафтный урбанизм рассматривает городскую среду через призму природных процессов, предлагая интеграцию зеленых и водных элементов в городскую ткань. Это направление способствует достижению баланса между антропогенной нагрузкой и природными компонентами, особенно важного для курортных агломераций с высокой рекреационной плотностью.

В международной практике зелёная инфраструктура рассматривается как многоуровневая и динамичная система, формируемая с учётом исторических изменений структуры озеленения территории. Особое внимание уделяется созданию взаимосвязанных зелёных коридоров и связующих элементов, обеспечивающих непрерывность каркаса.

Для того чтобы лучше понять устройство зеленого каркаса курортных городов на территории Крыма и предложить варианты его развития было проведено сравнение с иностранными курортами, приближенными по климату и градостроительной структуре городов, как Евпатория и Анталья (Турция), Алупка и Батуми (Грузия), Ялта и Балчик (Болгария). На основе схем зеленых каркасов г. Анталья, г. Балчик и г. Батуми (Рисунок 1-6) была составлена сравнительная таблица 1, которая в полной мере позволяет оценить количественные и структурные характеристики зеленой зоны курортного города.



Рис. 1. Евпатория,



Рис. 2. Анталья

К сожалению, в Евпатории есть серьезные проблемы с количеством озеленения, оно имеет довольно разреженное расположение. Часто, после благоустройства деревья и кустарники погибают из-за отсутствия должного ухода и полива. За последние 15 лет город потерял около 20% насаждений вдоль основных магистралей, а их восстановление практически не ведется. В Антальи же озеленение является неотъемлемой частью города. Вместо точечных скверов есть крупные, ухоженные парковые зоны. Таких пространств в Анталии несколько, в то время как Евпатория только пытается восстановить то немногое, что у нее было.



Рис. 3. Алупка



Рис. 4. Батуми

Сравнивая Алупку и Батуми заметно их сходство в количестве озеленения. В обоих городах оно расположено плотной, почти единой структурой. Однако Батуми все же проигрывает в количестве озеленения Алупке.



Рис. 5. Ялта



Рис. 6. Балчик

Ялта и Балчик сильно отличаются по структуре озеленения. Если в Ялте зеленые зоны расположены крупными пятнами, хорошо связаны между собой и образуют практически непрерывный зелёный каркас, то в Балчике очень плотная застройка из-за чего озелененные территории теряются в структуре города. Несмотря на наличие нескольких крупных парков, они не могут в полной мере

выполнять свою рекреационную функцию. Ялте следует поддерживать существующее озеленение и приумножать его по мере возможностей, а Балчику — искать способы “вернуть” зелень в повседневное пространство города.

Сравнение в таблице 1 охватывает следующие основные блоки параметров. Во-первых, общие характеристики городов: общая площадь городской территории (га) и численность постоянного населения (чел.), климатический пояс. Во-вторых, объём и структуру зелёных насаждений в пределах городской черты, включая общую площадь всех зелёных насаждений (га), а также деление по категориям: насаждения общего пользования и прочие формы озеленения.

Особое внимание уделяется расчётным индикаторам интенсивности озеленения. К ним относятся уровень озеленения территории (в процентах от общей площади городской территории), площадь зелёных насаждений на одного жителя (м²/чел.).

Применяя такой анализ, появляется возможность оценить качество структуры зелёного каркаса, степень его ориентированности на нужды населения (через показатели общего пользования), а также экологическую значимость (через долю прочих форм озеленения). Это актуальный подход для приморских курортных городов, испытывающих значительную антропогенную и рекреационную нагрузку, поскольку позволяет выявить различия в стратегиях формирования зелёной инфраструктуры, обусловленные историческими, климатическими, градостроительными и социально-экономическими особенностями каждого города.

Таблица 1

Характеристика зеленых зон анализируемых курортных городов

	Евпатория	Анталья	Алупка	Батуми	Ялта	Балчик
1.Общая площадь городской территории, га	4 313	141 700	422	6 490	1 563	74 411
2.Численность населения, чел	105 549	1496 881	9063	183200	72 013	12 500
Климатический пояс	Умеренный (близкий к средиземноморскому)	Субтропический (средиземноморский)	Субтропический (средиземноморский)	Субтропический (влажный)	Субтропический (средиземноморский)	Умеренный (континентальный)
3.Общая площадь зеленых насаждений в пределах городской черты, га в том числе:	400	1500	55	400	350	80
площадь насаждений общего пользования, га	280	800	45	250	185	30
площадь прочих форм озеленения, га	120	700	10	150	165	50
4. Общая площадь зеленых насаждений м2/чел	38	10	61	21	49	38
5.Интенсивность озеленения, %	9,3	7	13	6,2	22,4	1

Вывод

Проведенный анализ показал, что структура зеленого каркаса приморских курортных агломераций Черноморского бассейна характеризуется значительной вариативностью, определяемой как природно-климатическими особенностями территорий, так и исторически сложившимися градостроительными стратегиями. Крымские города — Евпатория, Алупка и Ялта — демонстрируют существенно более высокий уровень обеспеченности зелеными насаждениями в расчете на одного жителя (соответственно 38, 61 и 49 м²/чел.), чем их аналоги в Турции, Болгарии и Грузии.

По таблице 1 видно, что особенно выделяются показатели парковых территорий: в Ялте и Алупке они достигают 49 и 61 м²/чел., что свидетельствует о сохранении крупных природных массивов в городской черте и их интеграции в рекреационную ткань. В то же время в Анталье и Батуми эти значения существенно ниже (10 и 21 м²/чел. общей зеленой площади, при 7 и 6,2 % интенсивности озеленения), что отражает активную урбанизацию и приоритет туристической застройки над сохранением естественных ландшафтов. Балчик занимает промежуточное положение с высоким показателем общей озелененности (70 м²/чел.), однако интенсивность озеленения крайне мала (1%).

Сравнение структуры зеленых насаждений выявляет важное различие в ориентации каркаса на нужды населения. В крымских городах значительная доля зеленых территорий приходится на парки,

скверы и леса, обеспечивая не только микроклиматическую регуляцию и защиту от оползневых процессов, но и формирование экологического каркаса с высокой устойчивостью к климатическим рискам. В иностранных аналогах (Анталья, Балчик) преобладают насаждения общего пользования и линейные формы озеленения (набережные, бульвары), что повышает рекреационную доступность, но снижает общую экологическую емкость системы в условиях высокой антропогенной нагрузки.

Таким образом, крымские курортные территории обладают более выраженным природным потенциалом зеленого каркаса, однако требуют целенаправленных мер по повышению связности элементов, интеграции зеленых коридоров вдоль речных долин и балок, а также по увеличению доли насаждений общего пользования в зонах активной рекреации.

Для повышения климатической устойчивости и комфорта рекреационных зон крымских приморских курортов целесообразно разработать и реализовать комплексную стратегию формирования непрерывного зеленого каркаса, опирающуюся на принципы ландшафтного урбанизма.

Рекомендуется в первую очередь обеспечить связность существующих зеленых массивов через создание зеленых коридоров вдоль естественных элементов рельефа — речных долин, балок и прибрежных склонов. В Евпатории и прилегающих территориях Западного Крыма следует интегрировать прибрежные озелененные полосы с внутригородскими зелеными объектами, формируя непрерывные прогулочные маршруты, совмещенные с системой набережных и линейных парков. Это позволит не только повысить микроклиматическую регуляцию и снизить тепловую нагрузку, но и значительно увеличить доступность рекреационных пространств для жителей и туристов.

В городах Южного берега Крыма (Ялта, Алупка и прилегающие поселения) особое внимание необходимо уделить восстановлению и укреплению оползнеопасных склонов традиционными методами с использованием местных видов растительности. Создание многоуровневых зеленых террас и экологических троп, интегрированных в существующие парки-памятники садово-паркового искусства, обеспечит одновременно защиту от эрозионных процессов, сохранение биоразнообразия и развитие экологического туризма.

Важным направлением является увеличение доли насаждений общего пользования в структуре зеленого каркаса. Для этого предлагается преобразование части малозадействованных или деградированных территорий в многофункциональные скверы. Такие меры позволят повысить показатели обеспеченности зелеными пространствами на одного жителя и туриста, особенно в условиях растущей рекреационной нагрузки.

Список использованных источников

1) Самойлова, Н. В. Методы по созданию природно-рекреационного каркаса поселений Черноморского побережья // Научный вестник Крыма. 2018. № 4 (15). С. 1–6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-po-sozdaniyu-prirodno-rekreatsionnogo-karkasa-poseleniy-chernomorskogo-poberezhya (дата обращения: 30.04.2026).

2) Красильникова, Э. Э. Ландшафтный урбанизм. Теория — практика : научная монография. Ч. 1 : Научные и практические основы ландшафтного урбанизма / Э. Э. Красильникова. — Волгоград : ООО «ИАА «Областные вести», 2015. — 156 с.

3) Atik, M. Anticipating an Urban Green Infrastructure Design for the Turkish Mediterranean City of Antalya / M. Atik, V. Ortaçeşme, E. Yıldırım // Urban Services to Ecosystems : Green Infrastructure Benefits from the Landscape to the Urban Scale / ed. by C. Catalano [и др.]. — Cham : Springer, 2021. — P. 243–263. URL: https://www.researchgate.net/publication/354628180_Anticipating_an_Urban_Green_Infrastructure_Design_for_the_Turkish_Mediterranean_City_of_Antalya (дата обращения: 30.04.2026)

4) Frantzova, A. Rethinking the landslide risk assessment for socio-ecological systems using the example of the northern Bulgarian Black Sea coast / A. Frantzova [и др.] // One Ecosystem. 2024. Vol. 9. e136166. URL: https://oneecosystem.pensoft.net/article/136166/ (дата обращения: 30.04.2026).

5) Публикации и отчеты по NbS и green infrastructure в рамках проектов Interreg NEXT Black Sea Basin (Green Urban Resilience, NBS-CORES, 2024–2026, с участием Батуми) // Interreg NEXT Black Sea Basin : офиц. сайт. URL: https://greenurbanresilience.com/ ; https://blacksea-cbc.net/ (дата обращения: 30.04.2026).

СЕКЦИЯ 3

СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ГЕОТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ

УДК 517.518.45
27.23.23: Ряды и последовательности

ОПЕРАТОРНЫЙ МЕТОД РАЗЛОЖЕНИЯ ВЫСОКОСТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ В РЯД ФУРЬЕ

Акимов Валерий Алексеевич,
Белорусский национальный технический университет, доцент,
кандидат физико-математических наук
e-mail: vakim50@mail.ru

Как известно [1,2,3] функцию $f(x)$ -периодичную с периодом $T = 2l$
и удовлетворяющую условиям Дирихле, можно разложить в ряд Фурье на отрезке $[-l, l]$:
$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x)$,
где $\delta_n = \frac{\pi n}{l}, a_n = \frac{1}{l}\int_{-l}^{l} f(x) \cos \delta_n \, dx \qquad n = 1,2,3,\cdots$

$$b_n = \frac{1}{l}\int_{-l}^{l} f(x) \sin \delta_n x dx \qquad n = 1,2,3,\cdots$$

Если $f(x)$ -четная функция, то $b_n = 0, \qquad n = 1,2,3,\cdots$

$$a_n = \frac{2}{l}\int_{0}^{l} f(x) \cos \delta_n \, dx$$

Если же $f(x)$ - нечетная функция, то $a_n = 0, \qquad n = 0,1,2,3,\cdots$

$$b_n = \frac{2}{l}\int_{0}^{l} f(x) \sin \delta_n x dx \quad n = 1,2,3,\cdots$$

В некоторых случаях заданную на отрезке [0, *l*] функцию достаточно разложить в ряд только по косинусам или синусам, а затем продолжить ее четным или нечетным способом на отрезок [-*l*, 0]. В точке разрыва первого рода ряд Фурье функции сходится к значению $f(x) = 0{,}5[f(x+0) + f(x-0)]$

Рассмотрим оператор

$$T_l[f(x)] = \frac{f(x+l)-f(x-l)}{2} \qquad (1)$$

Используя соотношение $f(x+l) = e^{ld_x} f(x)$ где $d_x = \frac{d}{dx}$, можно T_l представить в виде символического оператора дифференцирования бесконечного высокого порядка

$$T_l = sh(ld_x) \qquad (2)$$

Установим два необходимых для дальнейших выкладок свойства оператора T_l по отношению к основному

$$\{\sin \delta_n x; \cos \delta_n x\}_{n=0}^{\infty} \qquad (3)$$

и производному $\{x \sin \delta_n x; x \cos \delta_n x\}_{n=0}^{\infty}$ классам функций, где $\delta_n = \frac{\pi n}{l}$.

Используя известные тригонометрические формулы, определяем:

$$T_l[\sin \delta_n x] = \frac{1}{2}[\sin \delta_n (x+l) - \sin \delta_n (x-l)] = \cos \delta_n x \sin \pi n = 0,$$
$$T_l[\cos \delta_n x] = -\sin \delta_n x \sin \pi n = 0 \qquad (4)$$

Аналогично

$$T_l[x \sin \delta_n x] = \frac{1}{2}[(x+l)\sin \delta_n x - (x-l)\sin \delta_n (x-l)] =$$
$$= x \sin \pi n \cos \delta_n x + l \cos \pi n \sin \delta_n x = (-1)^n l \sin \delta_n x$$
$$T_l[x \cos \delta_n x] = (-1)^n l \cos \delta_n x \qquad (5)$$

Кроме T_l введем оператор

$$V_n[f(x)] = \frac{f(x)}{1+\frac{d_x^2}{\delta_n^2}} \tag{6}$$

Общее решение операторного уравнения (6) можно представить в виде суммы, соответственно, частного и однородного решений

$$V_n[f(x)] = g_1(x) + g_2(x)$$

На основании [3, стр.86] имеем:

$g_1(x) = \frac{1}{\delta_n} sin\,\delta_n x \int f(x)\, cos\,\delta_n x dx - \frac{1}{\delta_n} cos\,\delta_n x \int f(x)\, sin\,\delta_n x dx,$

$$g_2(x) = c_1\, sin\,\delta_n x + c_2\, cos\,\delta_n x \tag{7}$$

причем $V_n^{-1}[g_1(x)] = f(x), \qquad V_n^{-1}[g_2(x)] = 0$ (8)

Если функция *f(x)* принадлежит классу (3), то решение частного уравнения проще искать в виде$g_1(x) = A\, sin\,\delta_m x + B\, cos\,\delta_m x$, когда $m = n$.

Исходя из представления $V_n^{-1} = 1 + \frac{d_x^2}{\delta_n^2}$, после подстановки $g_1(x)$ в (8) и приравнивая коэффициентов при одинаковых тригонометрических функциях справа и слева, получим:

$$V_n[sin\,\delta_m x] = \begin{cases} -\dfrac{\delta_n\, cos\,\delta_n x}{2} & \text{, при } m=n \\ \dfrac{sin\,\delta_m x}{1-\delta_m^2/\delta_n^2} & \text{, при } m\neq n \end{cases} \tag{9}$$

$$V_n[cos\,\delta_m x] = \begin{cases} -\dfrac{\delta_n\, cos\,\delta_n x}{2} & \text{, при } m=n \\ \dfrac{sin\,\delta_m x}{1-\delta_m^2/\delta_n^2} & \text{, при } m\neq n \end{cases}$$

Используя дополнительные соотношения

$$\frac{cos\,\delta_n x}{l d_x} = \frac{sin\,\delta_n x}{l\delta_n} + const \qquad \frac{sin\,\delta_n x}{l d_x} = \frac{cos\,\delta_n x}{l\delta_n} + const \tag{10}$$

а также учитывая выражения (4), (5) и (9), на основе принципа суперпозиций устанавливаем свойства операторов $D_0 = \frac{T_l}{l d_x}$, $D_1 = T_l V_n$и $D_2 = l d_x D_1$ в классе функций (3)

1. $D_0 = \frac{sh(l d_x)}{l d_x} = 1 + \frac{l^2 d_x^2}{3!} + \frac{l^4 d_x^4}{5!} + \cdots + \frac{l^{2k} d_x^{2k}}{(2k+1)!} + \cdots;$

$$D_0[sin\,\delta_m x] = 0, \quad D_0[cos\,\delta_m x] = 0, D_0[C] = C \tag{11}$$

2. $D_1 = \frac{sh(l d_x)}{1+\frac{d_x^2}{\delta_n^2}} = (l d_x + \frac{l^3 d_x^3}{3!} + \cdots \frac{l^{2n-1} d_x^{2n-1}}{(2n-1)!} + \cdots)(1 - \frac{d_x^2}{\delta_n^2} + \frac{d_x^4}{\delta_n^4} + \cdots + \frac{(-1)^{n-1} d_x^{2(n-1)}}{\delta_n^{2(n-1)}} + \cdots)$

$$D_1[sin\,\delta_m x] = \begin{cases} \dfrac{(-1)^{n+1} l\delta_n}{2} cos\,\delta_n x & \text{при } m\neq n \\ 0 & \text{при } m=n \end{cases} \tag{12}$$

$$D_1[cos\,\delta_m x] = \begin{cases} \dfrac{(-1)^{n} l\delta_n}{2} sin\,\delta_n x & \text{при } m\neq n \\ 0 & \text{при } m=n \end{cases}$$

$$D_2 = \frac{l d_x sh(l d_x)}{1+\frac{d_x^2}{\delta_n^2}} = (l^2 d_x^2 + \frac{l^4 d_x^4}{3!} + \cdots \frac{l^{2n} d_x^{2n}}{(2n-1)!} + \cdots)(1 - \frac{d_x^2}{\delta_n^2} + \frac{d_x^4}{\delta_n^4} + \cdots \frac{(-1)^{n-1} d_x^{2(n-1)}}{\delta_n^{2(n-1)}} + \cdots)$$

$$D_1[sin\,\delta_m x] = \begin{cases} \dfrac{(-1)^{n} l^2 \delta_n^2}{2} sin\,\delta_n x & \text{при } m\neq n \\ & \text{при } m=n \end{cases} \tag{13}$$

$$D_2[cos\,\delta_m\,x] = \begin{cases} \dfrac{(-1)^n l^2 \delta_n^2}{2} cos\,\delta_n\,x & \text{при } m \neq n \\ 0 & \text{при } m = n \end{cases}$$

$D_0[C] = C.$

Здесь С — произвольная постоянная, а *m, n*=0, 1, 2, 3 — числа натурального ряда. Если следовать классике, то следует отметить, что для разложения в нечетный ряд высоких степеней x следует применять интегрирование по частям столько раз чему равен показатель степени, а это крайне громоздко и в литературе таких примеры отсутствуют. Мы же, не взяв ни одного интеграла, впервые достаточно просто получим эти разложения благодаря операторному методу

Рассмотрим конкретные примеры нахождения коэффициентов рядов Фурье операторным методом.

1. Пусть $x^{2r+1} = \sum_{n=1}^{\infty} b_n\,sin\,\delta_n\,x\,, \qquad r = 0,1,2,\cdots$

Произведем над обеими частями записанного ряда операцию D_1. Непосредственно устанавливаем:

$$V_n[x^{2r+1}] = (1 - \frac{d_x^2}{\delta_n^2} + \frac{d_x^4}{\delta_n^4} - \frac{d_x^6}{\delta_n^6} + \ldots)[x^{2r+1}] = x^{2r+1} - \frac{(2r+1)2rx^{2r-1}}{\delta_n^2} +$$

$$+ \frac{(2r+1)2r(2r-1)(2r-2)}{\delta_n^4} x^{2r-3} + \ldots + (-1)^r \frac{(2r+1)!}{\delta_n^{2r}} x$$

Кроме того, $sh(ld_x) = ld + \frac{l^3 d_x^3}{3!} + \ldots + \frac{l^{2r+1} d_x^{2r+1}}{5!} + \ldots$

В результате получим:

$$D_1[x^{2r+1}] = l^{2r+1} - \frac{(2r+1)2r}{\delta_n^2} l^{2r-1} + \frac{(2r+1)2r(2r-1)(2r-2)}{\delta_n^4} l^{2r-3} +$$

$$+ \ldots + (-1)^r \frac{(2r+1)!}{\delta_n^{2r}} l \qquad (14)$$

Выражение в правой части, на основании (11) принимает вид:

$$D_1[\sum_{k=1}^{\infty} b_k\,sin\,\delta_k\,x]|_{x=0} = b_n \frac{(-1)^{n+1} l \delta_n}{2} \qquad (15)$$

Приравнивая (15) и (14) между собой, окончательно находим:

$$x^{2r+1} = 2\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} \left[\frac{l^{2r}}{\delta_n} - \frac{(2r+1)2r}{\delta_n^3} l^{2(r-1)} + \ldots + (-1)^r \frac{(2r+1)!}{\delta_n^{2r+1}}\right] sin\,\delta_n\,x$$

Итак, на основе вышеизложенного, получим:

$$D_1[x^9]|_{x=0} = (ld_x + \frac{l^3 d_x^3}{3!} + \frac{l^5 d_x^5}{5!} + \frac{l^7 d_x^7}{7!} + \frac{l^9 d_x^9}{9!})(1 - \frac{d_x^2}{\delta_n^2} + \frac{d_x^4}{\delta_n^4} - \frac{d_x^6}{\delta_n^6} + \frac{d_x^8}{\delta_n^8})[x^9] =$$

$$= l^9 - \frac{9!l^7}{7!\delta_n^2} + \frac{9!l^5}{5!\delta_n^4} - \frac{9!l^3}{3!\delta_n^6} + \frac{9!l}{\delta_n^8}.$$

С другой стороны, $D_1[\sum_{k=1}^{\infty} b_k\,sin\,\delta_k\,x]|_{x=0} = b_n \frac{(-1)^{n+1} l \delta_n}{2}$

В результате получим:

$x^9 = \frac{2 \cdot 9! \cdot l^9}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} (\frac{1}{9!} - \frac{1}{7!\pi^2 n^2} + \frac{1}{5!\pi^4 n^4} - \frac{1}{3!\pi^6 n^6} + \frac{1}{1!\pi^8 n^8})\,sin\frac{\pi n x}{l}$, аналогично

$$x^{11} = \frac{2 \cdot 11! \cdot l^{11}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} (\frac{1}{11!} - \frac{1}{9!\,\pi^2 n^2} + \frac{1}{7!\,\pi^4 n^4} - \frac{1}{5!\,\pi^6 n^6} + \frac{1}{3!\,\pi^8 n^8} - \frac{1}{1!\,\pi^{10} n^{10}})\,sin\frac{\pi n x}{l}$$

В более компактной форме записи эта запись принимает вид:

$$x^{2r+1} = \frac{2 \cdot (2r+1)! \cdot l^{2r+1}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n} \sum_{m=1}^{r+1} \frac{(-1)^{m-1}}{(2r-2m+3)!\pi^{2(m-1)} n^{2(m-1)}} sin\frac{\pi n x}{l} \qquad (16)$$

Полагая в (16) для определенности r=1и $l=\pi$, получим известную в теории рядов Фурье формулу

$$x^3 = 2\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{(-1)^{n-1}\pi^2}{n} + \frac{(-1)^n 6}{n^3}\right] sin\,n\,x.$$

2. Теперь рассмотрим четные степени.

Пусть $x^{2r} = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos \delta_k x, \qquad r = 1,2,3 \cdots$

По аналогии с примером 1, предварительно определяем:

$D_0[x^{2r}]|_{x=0} = \frac{l^{2r}}{2r+1}$, $D_0[\sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos \delta_k x] = a_0$,

$D_2[x^{2r}]|_{x=0} = 2rl^{2r} + \ldots + (-1)^{r-1} \frac{(2r)!l^2}{\delta_n^{2r-2}}, \qquad D_2[\sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos \delta_k x]|_{x=0} = a_n \frac{(-1)^n l^2 \delta_n^2}{2}$

$$D_2[x^{10}]|_{x=0} = 10!\left(\frac{l^{10}}{9!} - \frac{l^8}{7!\,\delta_n^2} + \frac{l^6}{5!\,\delta_n^4} - \frac{l^4}{3!\,\delta_n^6} + \frac{l^2}{1!\,\delta_n^8}\right)$$

$$D_2[x^{12}]|_{x=0} = 12!\left(\frac{l^{12}}{11!} - \frac{l^{10}}{9!\,\delta_n^2} + \frac{l^8}{7!\,\delta_n^4} - \frac{l^6}{5!\,\delta_n^6} + \frac{l^4}{3!\,\delta_n^8} - \frac{l^2}{\delta_n^{10}}\right)$$

$x^{10} = \frac{l^{10}}{11} + \frac{2\cdot 10!\cdot l^{10}}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \left(\frac{1}{9!} - \frac{1}{7!\pi^2 n^2} + \frac{1}{5!\pi^4 n^4} - \frac{1}{3!\pi^6 n^6} + \frac{1}{1!\pi^8 n^8}\right) \cos \frac{\pi n x}{l} x,$

$$x^{12} = \frac{l^{12}}{13} + \frac{2 \cdot 12! \cdot l^{12}}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \left(\frac{1}{11!} - \frac{1}{9!\,\pi^2 n^2} + \frac{1}{7!\,\pi^4 n^4} - \frac{1}{5!\,\pi^6 n^6} + \frac{1}{3!\,\pi^8 n^8} - \frac{1}{1!\,\pi^{10} n^{10}}\right) \cos \frac{\pi n x}{l} x$$

Окончательно получим:

$$x^{2r} = \frac{l^{2r}}{2r+1} + \frac{2\cdot(2r)!\cdot l^{2r}}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n^2} \sum_{m=1}^{r} \frac{(-1)^{m-1}}{(2r-2m+1)!\pi^{2m} n^{2m}} \cos \frac{\pi n x}{l} x \tag{17}$$

Выражение (16) после подстановки в него значений r=2 и $l=\pi$ принимает вид

$$x^4 = \frac{\pi^4}{5} + 8 \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n \pi^2}{n^2} + \frac{(-1)^{n-1} 6}{n^4}\right] \cos n x,$$

что также является хорошо известным результатом. Таким образом, подставляя в (16) и (17) всевозможные значения r и l, приходим к разложению четных и нечетных степенных функций в ряды Фурье. Сравнивая полученные результаты с известными, можно убедиться в их полном совпадении.

Как известно, любую функцию можно представить в виде суммы ее четной и нечетной составляющих

$$f(x) = f_ч(x) + f_н(x) \tag{18}$$

где $f_ч(x) = \frac{f(x)+f(-x)}{2}$, $\qquad f_н(x) = \frac{f(x)-f(-x)}{2}$

Поэтому, разложив отдельно четную составляющую исходной функции в ряд Фурье по косинусам, а нечетную — в ряд по синусам, после суммирования (18) получим ее разложение в полный ряд Фурье. Однако, конструкция полученных формул (11), (12) и (13) такова, что их применение позволяет (как и в классическом случае) получить требуемый результат непосредственно без выделения четной и нечетной составляющих функции. Убедимся в справедливости данного высказывания на конкретном примере.

$$exp(ax) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x) \tag{19}$$

Как и в приведенных выше примерах, выпишем последовательно результат операций D_0, D_1 и D_2 над правой и левой частями при x=0. В соответствии с формулами (11), (12) и (13), находим:

$D_0[exp(ax)]\,\Big|x = 0 = \frac{sh(la)}{la} exp(ax)|x = 0 = \frac{sh(la)}{la}$,

$D_0\left[\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x)\right]|x = 0 = \frac{a_0}{2}$,

$D_1[exp(ax)]\,\Big|x = 0 = \frac{sh(la)}{1+\frac{a^2}{\delta_n^2}} exp(ax)|x = 0 = \frac{sh(la)}{1+\frac{a^2}{\delta_n^2}}$,

$$D_1\left[\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x)\right]|x = 0 =$$

$$= \left[a_n \frac{(-1)^n l \delta_n}{2} \sin \delta_n x + b_n \frac{(-1)^n l \delta_n}{2} \cos \delta_n x\right]|x = 0 = b_n \frac{(-1)^n l \delta_n}{2},$$

$D_2[exp(ax)]|x = 0 = \frac{lash(la)}{1+\frac{a^2}{\delta_n^2}}$,

$D_2\left[\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \delta_n x + b_n \sin \delta_n x)\right]|x = 0 = a_n \frac{(-1)^n l^2 \delta_n^2}{2}$,

Приравнивая выражения для каждого оператора, мы в итоге получим:

$\frac{a_0}{2} = \frac{sh(la)}{la}$, $b_n = \frac{(-1)^n 2\delta_n sh(la)}{l(a^2+\delta_n^2)}$, $a_n = \frac{(-1)^n 2ash(la)}{l(a^2+\delta_n^2)}$.

Т.е. $exp(ax) = \frac{sh(la)}{la} + \frac{2sh(la)}{l}\sum_{n=1}^{\infty}(-1)^n \left(\frac{a}{a^2+\delta_n^2} cos\ \delta_n x + \frac{\delta_n}{a^2+\delta_n^2} sin\ \delta_n x\right)$.

При нахождении коэффициентов представления функций $sh(ax)$,$ch(ax)$,$sin(ax)$,$cos(ax)$ их тригонометрическим рядам Фурье используются не все три оператора одновременно (как в 3-м примере), а соответственно D_1 или D_0 и D_2 в зависимости от четности или нечетности исходной функции (как показано в 1-м и 2-м примерах). Число примеров, при необходимости, может быть легко продолжено, и во всех случаях мы получим совпадение результатов операторного и классического метода разложения функций в ряд Фурье. В случае удовлетворения функции условиям Дирихле полученный ряд сходится к ней равномерно на всем отрезке [-*l, l*] [1; 2; 3].

Так как в силу выражений (11), (12) и (13) правая часть известна заранее, то для нахождения коэффициентов достаточно найти оператор от функции в левой части при x=0, что в некоторых случаях сделать проще, чем вычислить соответствующий интеграл в классическом случае теории вычетов.

Список использованных источников

1. Бари Н.К. Тригонометрические ряды. // М. Физматгиз. - 1961. - 936 с.
2. Зигмунд А. Тригонометрические ряды. // М.: Мир - 1965. Т. 1 - 615 с., Т. 2 -537 с.
3. Смирнов В.И. Курс высшей математики. // Т. 2 -Изд-е 21-е стереотип. М., 1974. — 656 с.

УДК 534.21

87.55.29: Производственные, транспортные и иные шум. Исследование шумов. Методы и средства борьбы.

ЧАСТОТНОЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ УСРЕДНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ЗВУКА, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВЫХ МЕТОДОВ

Антонов Александр Иванович,
ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН»
д.т.н., ведущий научный сотрудник
e-mail: aiant58@yandex.ru

Жоголева Ольга Александровна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: zhogoleva.olga@rambler.ru

Леденев Владимир Иванович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
д.т.н., профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: ledvi@yandex.ru

Матвеева Ирина Владимировна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: times02@yandex.ru

При использовании волновых методов расчета энергетических характеристик звуковых полей наблюдается пространственная и частотная осцилляция результатов, при которой небольшое перемещение расчетной точки или незначительное изменение частоты приводят к изменению уровней звукового давления на 10 и более децибел [1]. Для использования результатов волнового расчета в практической деятельности по проектированию средств защиты от шума необходим эффективный алгоритм усреднения осциллирующих величин с целью получения достоверных и стабильных значений. Ниже рассмотрены принципы такого усреднения.

Звуковое поле можно представить в виде суперпозиции гармонических когерентных звуковых волн. Уравнение для таких волн имеет вид:

$$P_{i(x,t)} = P_{0i}\cos\left(\omega t - kr_i + \varphi_{oi}\right) \tag{1}$$

где P_{0i} – амплитуда давления *i*-ой звуковой волны при прохождении расчетной точки, Па; r_i – расстояние, пройденное волной до расчетной точки или координата, вдоль которой распространяется звук, м; t – время, с; ω – круговая частота; k – волновое число; $\omega t - kr_i + \varphi_{0i}$ - фаза волны; φ_{0i} – начальная фаза. В дальнейших выражениях параметр ωt опускается.

Результатом сложения нескольких гармонических волн является также гармоническая волна. В случае сложения большого количества волн результирующую амплитуду удобно определять с помощью векторной диаграммы. Для этого вычисляются проекции результирующей амплитуды через сумму проекций амплитуд исходных волн (см. рисунок 1):

$$P_{\Sigma X} = \sum_i P_{oi}\cos\left(\varphi_{oi} - kr_i\right); P_{\Sigma Y} = \sum_i P_{oi}\sin\left(\varphi_{oi} - kr_i\right); \tag{2}$$

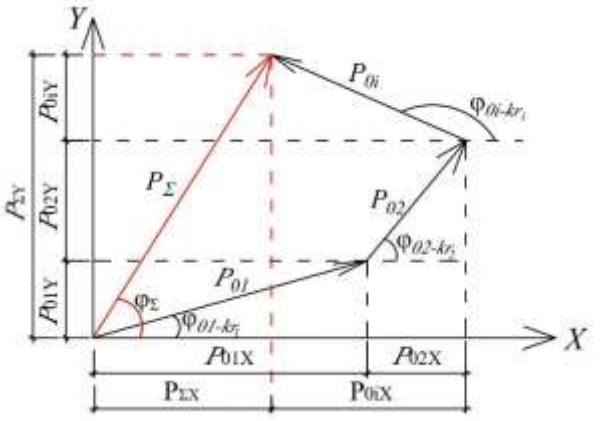


Рисунок 1 – Схема к определению суммарной амплитуды звуковых волн

Амплитуда и начальная фаза суммарной звуковой волны рассчитываются по выражениям:

$$P_\Sigma = \sqrt{P_{\Sigma X}^2 + P_{\Sigma Y}^2}; \quad \varphi_{0\Sigma} = arctg\left(\frac{P_{\Sigma Y}}{P_{\Sigma X}}\right). \tag{3}$$

Среднее или эффективное звуковое давление всех волн, проходящих через расчетную точку, можно определить через амплитуду или пиковое мгновенное значение давления в суммарной волне P_Σ по выражению:

$$\tilde{P} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left[P_\Sigma\cos\left(\omega t + \varphi_{o\Sigma}\right)\right]^2 dt} = \frac{P_\Sigma}{\sqrt{2}}. \tag{4}$$

На основе полученных пиковых значений звукового давления далее можно рассчитать средние уровни:

$$L_{cp} = 20log\left(\frac{P}{\tilde{P}_o}\right) = 20log\left(\frac{P_\Sigma}{\sqrt{2}\tilde{P}_o}\right) = L_{\text{пик}} - 3, \tag{5}$$

где P_0 – пороговое значение звукового давления.

На рисунке 2 показан пример усреднения осциллирующей гармонической функции уровней звука. Колебание уровней происходит за счет изменения фазы результирующей волны. Фаза может меняться за счет перемещения расчетной точки (пространственная осцилляция) или при изменении частоты звука в пределах анализируемой частотной полосы (частотная осцилляция). Для усреднения рассчитанных величин проводится огибающая линия пиковых уровней, которая опускается вниз на 3 дБ.

Пример усреднения результатов расчета дифракции звука через проем, соединяющий два помещения.

Для расчета дифракции звука, проходящего через открытый проем, используется принцип Гюйгенса и дифракционное уравнение Френеля-Кирхгофа [2]. Для решения уравнения предложен численный метод [3]. При таком подходе пространство проема представляется источником вторичных (дифрагированных) волн, а для расчета шума в расчетной точке требуется суммирование большого количества волн от участков, на которые разбивается фронт волны от источника в плоскости проема.

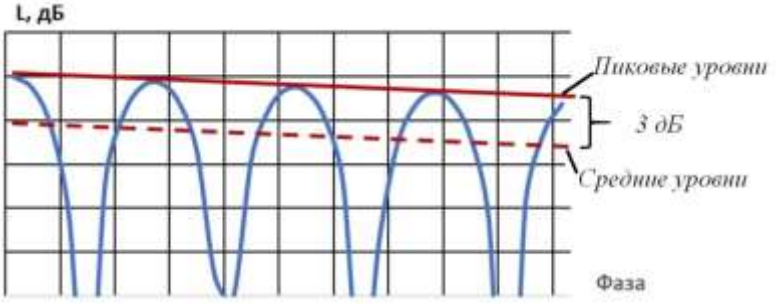


Рисунок 2 – Пример определения средних уровней

На рисунке 3 приведен план двух связанных помещений с размерами в плане 4х4 м и 6х10 м, соединенных проемом с размерами 1х2,5(h) м. Высота помещений 3.0 м. Точечный источник шума находится в точке (X = 2м; Y= 5м). Координаты Y источника шума и центра проема совпадают. Подробно исследования дифракции звука через проем в этих помещениях выполнены в статье [4]. Определение прямого и дифрагированного звука производилось на основе численного решения уравнения дифракции [3]. При таком подходе реализуются волновые свойства звука, что позволяет получить подробные картины распадения звуковой энергии в помещении.

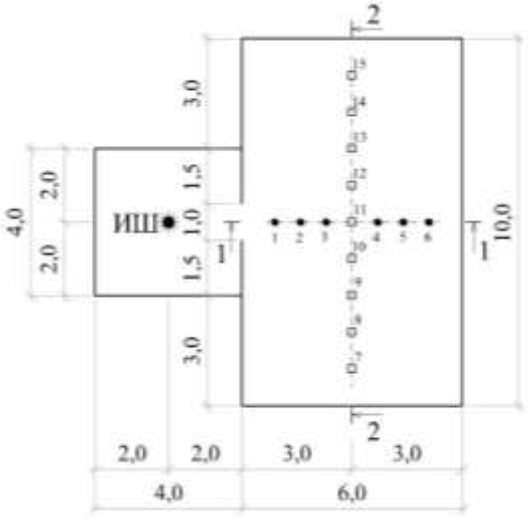


Рисунок 3 - Схема помещений к расчету прямого и дифрагированного звука с указанием положения расчетных точек и источника звука [4]. Размеры на схеме даны в метрах

В статье [3] показано, что уравнение дифракции может использоваться для расчетов прямого и дифрагированного звука при прохождении звуковой энергии через проемы и отверстия с различными размерами и формами. Для численного решения интеграла разработана компьютерная программа. Программа была ранее использована нами при оценке влияния зазоров между экраном и опорной плоскостью на акустическую эффективность экранирования шума [5].

Ниже на рисунке 4 приведена карта распределения звуковой энергии проходящей через проем, построенная на частоте 4000 Гц. На карте хорошо видны дифракционные кольца [6], определяющие неравномерность звукового поля за счет интерференции, проходящих через проем звуковых волн.

Исследование звукового поля выполнено в расчетной точке с координатами X = 6.7 м; Y = 1.0 м (см. фрагмент на рисунке 4). В расчетной точке рассчитанный уровень звукового давления на частоте 4000 Гц составляет 50.0 дБ. Вблизи этой точки наблюдается пространственное колебание уровней, а в самой точке амплитуда результирующей волны изменяется в зависимости от частоты. Пространственная и частотная осцилляция звука в этом случае имеют общую причину, а именно разность фаз приходящих волн, которая зависит от пути звуковых волн и их частот:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta r}{c\Delta f}, \tag{6}$$

где $\Delta r = r_i - r_j$ - разность пути *i*-ой и *j*-ой звуковых волн до расчетной точки при анализе пространственной осцилляции; Δf – разность в частотах волн, если анализируется частотная осцилляция звука; c – скорость звука.

Ниже выполнено частотное усреднение результатов расчета. Перед этим при решении поставленных задач можно исключить дополнительный не принципиальный в данном случае фактор, то есть принять постоянной акустическую мощность источника шума в пределах частотной полосы анализа.

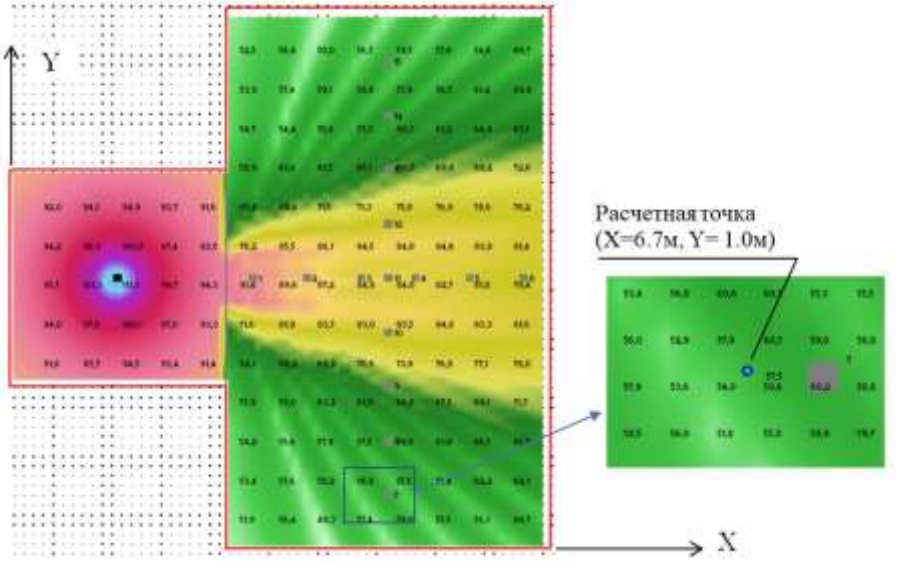


Рисунок 4 – Карта прямой и дифрагированной через проем звуковой энергии на частоте 4000 Гц

Расчет зависимости уровней звукового давления от частоты звука выполнен в пределах октавной полосы со среднегеометрической частотой 4000 Гц. Частота звука в октаве изменяется от 2800 до 5600 Гц. Расчет выполнялся в октавной полосе в 20 точках с шагом изменения частоты звука Δf = 140 Гц, результаты расчетов даны на рисунке 5. Расчеты показали, что с изменением частоты уровни колеблются с периодом примерно 400 Гц. Полученный график должен иметь вид синусоиды. Однако в данном случае за счет большой дискретности аргумента произошло некоторое искажение формы. Для повышения точности расчетов количество точек, на которое делится октавная полоса, должно значительно увеличиться. Это приводит к существенному росту трудоемкости расчетов.

На основе выполненного численного энергетического усреднения уровней звукового давления в рассматриваемом диапазоне частот получено среднее значение уровня для октавы $L_{окт}$ = 51.9 дБ.

Для практического применения рекомендуется использовать октавное усреднение звука на основе свойства гармонических волн по выражению (5). На рисунке 5 для данного конкретного примера показаны огибающая линия пиковых уровней и линия средних уровней, а также отмечены на них точки, соответствующие среднегеометрической частоте. На основе выражения (5) получено значение среднего октавного уровня звукового давления $L_{окт}$ = 54.7 - 3 = 51.7 дБ. При использовании усреднения по выражению (5) следует отметить, что не обязательно рассчитывать уровни во всем частотном диапазоне, достаточно рассчитать два ближайших максимальных значения, но с более высокой точностью. Такой принцип реализован при усреднении пространственной осцилляции.



Рисунок 5 – Зависимость уровней в расчетной точке от частоты звука

В случае значительного и резкого изменения уровней акустической мощности источника звука в пределах октавной полосы, например, более 10 дБ для тонального шума, следует производить усреднение уровней в пределах третьоктавных полос частот.

Далее рассмотрено пространственное усреднение интерференционного звука.

Зависимость уровней звукового давления от частоты в фиксированной точке показана на рисунке 5. Подобная картина наблюдается при небольших перемещениях расчетной точки от исходного положения. Это видно на карте рисунка 4. И в том, и в другом случаях наблюдается гармонический характер зависимости графика уровней звукового давления от аргументов (частоты или координаты). Можно принять равенство пикового пространственного уровня звукового давления с пиковым уровнем в пределах частотной полосы анализа. В обоих случаях наибольшее значение уровня наблюдается при косинусе разности фаз по выражению (6) равном единице. Это условие выполняется при расчетах в пределах одного периода пространственной или частотной осцилляции.

Подробная шумовая карта вблизи расчетной точки при изменении координат X и Y на расстоянии 4 длин волны (± 17 см) приведена на рисунке 6. Карта позволяет определить направление градиента звукового поля, наибольшее изменение уровней шума происходит по диагонали в направлении осей +X и +Y.

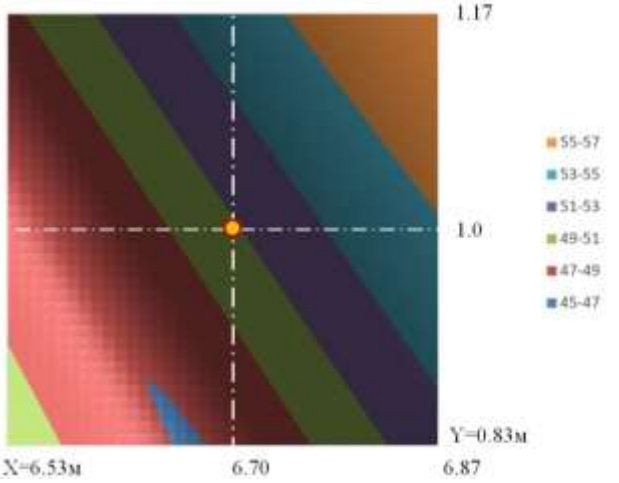


Рисунок 6 – Фрагмент шумовой карты

На рисунке 7 приведены результаты расчета уровней звукового давления по 4 направлениям, проходящим через расчетную точку. Расчеты ограничивались нахождением двух ближайших пиковых уровней звукового давления.

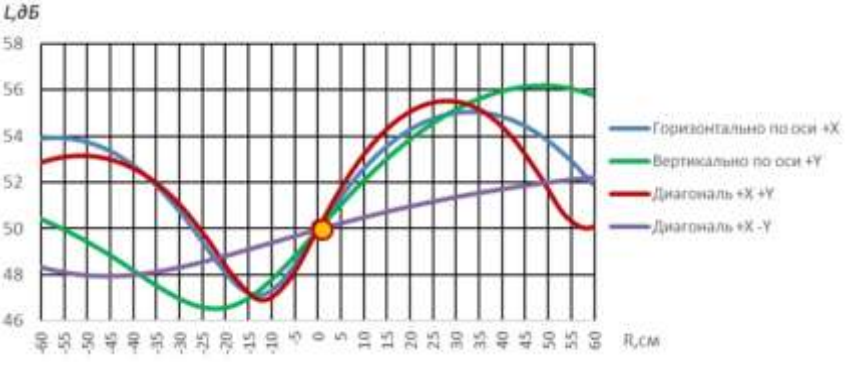


Рисунок 7 – Графики изменения УЗД по 4 направлениям, проходящим через расчетную точку (*R* – расстояние до расчетной точки вдоль соответствующих осей)

Анализ графиков на рисунке 6 показал, что в направлении диагонали осей +X и +Y интерференционные процессы наблюдается особенно ярко, уровни в направлении наибольшего градиента изменяются по гармоническому закону с периодом 77 см. При перемещении расчетной точки на R = 38 см уровни изменяется на $\Delta L = 57 - 47 = 10$ дБ.

Для определения среднего уровня вблизи расчетной точки необходимо построить огибающую пиковых уровней (синяя линия на рисунке 8). Точки на этой линии соответствуют максимальным уровням

звука в пределах октавной полосы анализа. Для рассматриваемой точки (R = 0 см) на огибающей линии уровень составляет 55 дБ, что соответствует частотному пиковому уровню по графику на рисунке 5 при частоте 3417 Гц в пределах октавной полосы.

Пунктирная линия на рисунке 8 соответствует изменению средней пространственной энергии, эта линия согласно выражению (5) ниже максимальной на 3 дБ. В расчетной точке усредненный уровень составляет $L_{ср}$ = 54.7 - 3 = 51.7 дБ, что соответствует среднему октавному уровню. Результаты расчета и полученное равенство средних частотных и пространственных уровней подтверждают сформулированный принцип пространственно-временной суперпозиции осцилляции звукового поля.

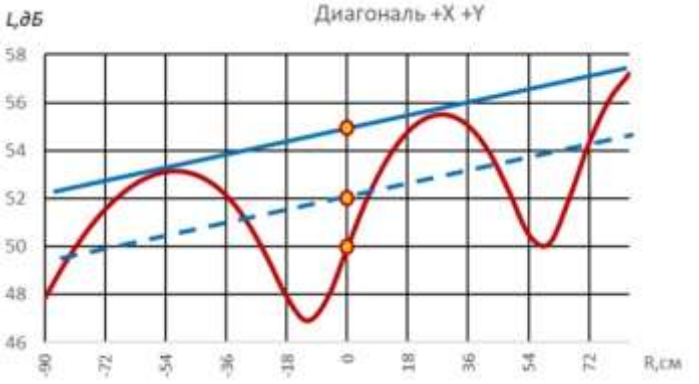


Рисунок 8 – Усреднение уровней звукового давления вблизи расчетной точки

В целом в результате исследований установлено, что при дифракционных и интерференционных процессах звуковое поле имеет свойства пространственно-частотной суперпозиции: изменение уровня звукового давления при изменении положения расчетной точки идентично изменению уровня шума от изменения частоты звука. Изменения положения точки и частоты звука должно быть небольшими в пределах одного периода осцилляции. В статье приведен эффективный алгоритм усреднения частотной и пространственной осцилляции результатов расчета уровней звукового давления, полученных волновыми методами на основе свойства гармоничности результирующих волн.

Список использованных источников

1. Бреховских Л.М. О границах применимости некоторых приближенных методов, употребляемых в акустике / Л.М. Бреховских // ДАН СССР. – 1947. – Т. XVIII. С. 587.

2. Борн М. Основы оптики. / М. Борн, Э. Вольф - М: Наука. 1973. 720с.

3. Расчеты акустической эффективности шумозащитных экранов на основе численного решения уравнения дифракции звука / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев [и др.]. – Текст : электронный // Жилищное строительство. – 2024. – № 6. –С. 10–15. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-6-10-15.

4. Расчеты прямого и дифрагированного звука в помещении при проникновении в него звуковой энергии через открытый проем / А. И. Антонов, А. В. Гречишкин, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Приволжский научный журнал. 2025. № 3(75). С. 9-18.

5. Оценка влияния зазоров между акустическими экранами и опорной поверхностью на эффективность экранирования шума / А. В. Гречишкин, А. И. Антонов, В. П. Гусев, О. А. Жоголева. – Текст : электронный // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 1 (62). – С. 215–221. – DOI 10.54734/20722958_2025_1_215.

6. Пейн Г. Физика колебаний и волн / Г. Пейн – М.: Мир, 1979. 389 с.

УДК 691.335
67.09.45: Строительные материалы и изделия на основе полимеров

ШПАЛЫ ДЛЯ ТРАМВАЙНЫХ ПУТЕЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бондарев Борис Александрович,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
e-mail: lnsp-48@mail.ru

Бондарев Александр Борисович,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
e-mail: lnsp-48@mail.ru

Жидков Владимир Константинович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: gidkov_vova_1999@mail.ru

Харитонов Кирилл Андреевич,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», магистрант
e-mail: curillique@mail.ru

Совмещение автомобильного и трамвайного движения на городских мостах и путепроводах достаточно распространенное явление. Так, только в Липецке на двух мостах («Октябрьский» мост и мост по ул. Терешковой через Каменный лог) и двух путепроводах (путепроводы «Западный» и «Северный») осуществляется движение такого типа. До реконструкции уличной сети дорог в 2004 году таких объектов было гораздо больше. Как правило, трамвайные пути выполняются на балластной призме с железобетонными или деревянными шпалами. такая конструкция отрицательно влияет на техническое состояние сооружения, создавая дополнительные статические и динамические нагрузки.

При проведении ремонтных мероприятий на мостовых сооружениях кроме традиционных (основных) элементов (опор, опорных частей, пролетных строений, ездового полотна) приходится выполнять работы по приведению в нормативное состояние и конструкции трамвайных путей. Наиболее уязвимыми местами на мостах и путепроводах с совмещенным движением являются стыки покрытия проезжей части и трамвайных путей.

На вышеуказанных объектах в конструкции верхнего строения пути применяются деревянные шпалы, подверженные циклическому воздействию нагрузки с опиранием на бетонное основание или на щебеночную призму. Уложенные на такие шпалы рельсы вызывают разрушение асфальтобетонного покрытия от динамического воздействия движущихся трамваем. Кроме того, щебеночная призма и верхнее строение трамвайного пути создают дополнительную постоянную нагрузку на мостовое сооружение и в некоторых случаях является причиной снижения грузоподъемности сооружения. В связи с этим поиск новых, инновационных материалов и разработка новых технологий при устройстве трамвайных путей по мостовым сооружениям является актуальной научной задачей.

Замена существующих деревянных шпал на железнодорожные бетонные элементы аналогичной ориентации и создание железобетонных опор под рельсы представляют собой ключевые меры для повышения долговечности и технического состояния трамвайных путей и дорожного полотна городских мостов [2, 3]. Рисунки 1 и 2 демонстрируют типичные повреждения и неисправности деревянных шпал на трамвайных путях мостовых сооружений [4, 5].

Изобретателями композитного материала на основе дерева и стеклянного волокна выступают В.И. Харчеников [6] и О.П. Плужникова [7, 8]; впоследствии Ю.Н. Бухоновым, С.Ю. Зобовым и Э.А. Черниковым [9, 10] были изучены возможности его применения в верхних строительных элементах железнодорожных магистралей общего назначения и лесопромышленных дорогах, хотя для трамвайных путей подобные исследования ранее не проводились [11, 12].

Композитный материал из древесного стекла и полимербетона обладает необходимыми свойствами для изготовления шпал — высокими прочностными характеристиками, устойчивостью и прочностью конструкции [13, 14].



Рисунок 1 - Пролеты 3-5. Трамвайные пути. Общий вид со стороны опоры 3



Рисунок 2 - Опора 6. Трамвайные пути. Просадка балластной призмы

Шпалы из такого композита на основе полимера ФАМ состоят из армированной деревянной стружки (около 60% объёма), усиленной слоем стеклоткани, размещённой между слоями волокон. Модуль упругости данного материала составляет около (1-1,2) × 10^4 МПа, близкий к показателю натуральной древесины; плотность равна 1100–1200 кг/$м^3$, благодаря чему масса одной шпалы достигает всего лишь 150 кг по сравнению с массой бетонных аналогов весом 250–300 кг.

Прочность материала при изгибе составляет 20 МПа, тогда как прочность при сжатии и смятии значительно превышает аналогичные показатели обычной древесины. Древесно-стекловолокнистый композит обладает свойствами электроизолятора и высокой устойчивостью к коррозии. Отличием отечественных шпал из данного материала от зарубежных аналогов [15, 16] является метод их производства — литьё, а не прессование, как показано на рисунке 3.

Таблица 1 содержит уточнённый состав древесно-стекловолокнистого композита, применяемого для шпал трамвайных путей, а рисунок 4 иллюстрирует схему технологического процесса изготовления этих изделий.

Особенность технологии изготовления шпал из древесно-стекловолокнистого композита состоит в

одновременности укладки полимера и введения армирующих элементов в виде стеклянного жгута, сетки или рубленых волокон. Контрольные образцы были изготовлены и испытаны отдельно, без добавления модифицирующих добавок.

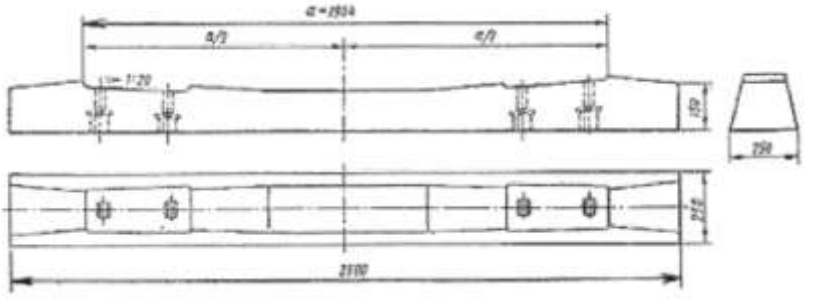


Рисунок 3 - Шпала трамвайная из древесного стекловолокнистого КМ

Каждая серия испытаний проводилась аналогично предыдущим, включая проверку трёх образцов каждого состава композита. Усреднённые экспериментальные данные представлены в таблице 2.

Из анализа результатов ясно, что введение глицерина в исходную композицию резко снижает прочностные характеристики материала при сжатии и чистом изгибе, ухудшая модуль упругости при указанных нагрузках [17, 18].

Это свидетельствует о том, что содержание глицерина должно строго ограничиваться минимальным уровнем (не более 0,1 % от массы базовой композиции), поскольку он оказывает смазывающее действие на внутреннюю структуру полимерной матрицы, приводящее к её расслоению при воздействии нагрузок. Особенно ярко это проявляется при тестировании образцов на сжатие, когда разрушение происходит не взрывообразно, а именно путём разрыхления структуры. Помимо технологических аспектов, последние исследования показали способность глицерина связывать выделяемый фенол, образующийся при вымывании бензолсульфокислоты из объёма полимерной матрицы [19, 12].

Таблица 1

Состав древесного стекловолокнистого КМ

Компоненты	Состав		Содержание компонентов, кг	
	М.ч.	Мас., %	В изделии	В 1 м^3
Фурфурол-ацетоновый мономер (ФАМ)	5,9	20,97	27,3	218
Бензосульфокислота (БСК)	1,4	4,84	6,3	50
Замедлитель реакции кристаллизации (ЗРК)	0,2	0,65	0,8	6,4
Песок (П)	11,3	40,32	52,4	419
Андезитовая мука (М)	3,4	12,26	15,9	127
Графитовая электродная мука (ГЭ)	0,8	2,9	3,8	30
Хлорид свинца (ХС)	0,9	3,23	4,2	34
Стекловолокно (СВ)	0,1	0,32	0,4	3,2
Щепа (Щ)	4,1	14,52	18,9	151
Итого	28,1	100	130	1038,6

Таблица 2

Зависимость механических характеристик древесного КМ от количества глицерина (ЗРК)

Количество компонента, % от массы БСК	Предел прочности, МПа		Модуль упругости, 10^4 МПа		Предельная Растяжимость, $\varepsilon_р$, %
	Чистый изгиб, σчи	Сжатие, σсж	Чистый изгиб, Ечи	Сжатие, Есж	
0	19	85	1,61	1,33	0,52
0,1	14,22	68,64	1,2	1,09	0,47
0,125	13,3	65,54	1,12	1,04	0,46
0,15	12,48	62,79	1,05	0,99	0,45

Отказавшись от токсичного хлорида свинца по причинам экологической безопасности, важно использовать глицерин для стабилизации бромистого соединения калия (БСК). Отсутствие доступной андезитовой муки вкупе с необходимостью повысить водостойкость железнодорожных шпал обусловило потребность введения в полимерную композицию пиритовой муки (ПО), улучшающей свойства материала [20, 21].

Поскольку оптимальная доля этой добавки с точки зрения прочности неизвестна, провели серию экспериментов: последовательно добавляли в полимерную матрицу древесного композитного материала (КМ) разные количества пиритовой муки — 2%, 3%, 5%, 6% и 7%.

Образцы получали стандартным способом: приготовленный полимерный раствор на основе фенолоформальдегидной смолы ФАМ заливали в формы и формовали образцы для испытания механических свойств. Результаты измерений обработаны компьютером с построением зависимости прочностных показателей (пределов прочности при сжатии) от концентрации пиритовой муки (%), выраженной в виде кубического полинома [18, 10], поскольку небольшие дозы данного наполнителя существенно не ухудшают механические характеристики композиции.

Исходная рецептура древесного КМ представляет собой полимерную основу, состоящую из песчаного раствора на основе смолы ФАМ и измельчённого андезита, усиленную распущённым стекловолокнистым жгутом (0,34% по массе) и древесными стружковыми отходами (щепой Щ) в объёме 15,25%. Таблица 3 содержит сведения обо всех компонентах смеси, включая экстремальные показатели и реальные значения для каждого ингредиента (графитовая мука, сетка из стекла, щепа, глицерин и пиритовая мука) относительно общей массы полимерной матрицы.

Таблица 3

Сводная таблица механических характеристик композитов, получаемых на стадиях создания древесного КМ

Композиционные материалы	Содержание компонентов	Средние арифметические величины характеристик					
		$\sigma^{сж}_{пч}$	$\sigma^{и}_{пч}$	$E_{сж}*10^4$	$E_{и}*10^4$	$\varepsilon_р^{пр}$	ρ
		МПа				%	кг/м^3
Полимеррастворна песке	ФАМ:БСК:П 1:0,25:6,8	85	11,2	2,14	1,71	0,029	2000
Полимерная матрица (значения усреднены)	ФАМ:БСК:П 1:0,25:2,9	83,4	18,6	1,34	1,59	0,035	2000
Полимербетон со щебнем	ФАМ:БСК:П:ЩБ 1:0,24:3,9:5,4	67	10,8	1,9	2,3	0,028	2400
Полимерная матрица + ЗРК	0,1% от массы БСК	68,64	14,22	1,09	1,2	0,47	2000
Полимеррастворр + графитовая мука	2,22% Гр от массы матрицы	71,78	11,35	2,33	1,815	0,261	2000
Полимеррастворр + ст. сетка	4% СС от массы матрицы	67,27	29,86	2,22	1,408	0,505	1900
Полимерная матрица + пиритовая мука (ПО)	3% ПО от массы матрицы	82,21	23,77	2,68	1,87	0,526	2000
Полимеррастворр + щепа	12,3% Щ от массы матрицы	81,74	15,14	2,11	1,63	0,15	1400
КМ	100	84	19	1,4	1,6	0,52	1800

Из таблицы 3 ясно, что полимерный раствор и бетон характеризуются низкой изгибной прочностью (соответственно 11,2 и 10,8 МПа) и низким показателем относительного удлинения при растяжении (εр = 0,028%). Однако у этих материалов чрезмерно высока прочность на сжатие (85 и 67 МПа соответственно), а также высокий модуль упругости при изгибе ($1{,}71\times10^4$ и $2{,}3\times10^4$ МПа). Такие характеристики нежелательны, поскольку делают деревянные шпалы практически столь же жёсткими, как и железобетонные изделия.

Добавление графитовой электродной муки существенно изменяет свойства композитного материала: снижается прочность при изгибе до 11,352 МПа, незначительно увеличивается модуль упругости при сжатии (до $2{,}327\times10^4$ МПа), однако при изгибе показатель остаётся высоким ($1{,}815\times10^4$ МПа). Важнее всего другое: значительно возрастает максимальная растяжимость материала (до 0,261%), определяющая стойкость к образованию трещин в растягиваемых слоях деревянной шпалы.

Использование стеклосетки для армирующего усиления позволяет получить почти идеальный баланс

свойств с точки зрения прочности и жёсткости композитного материала, хотя дороговизна сетки делает её экономически невыгодной при полном заполнении ею всего объёма заготовки шпалы. Добавление отходов деревообработки, таких как щепа, оказывает положительное воздействие на прочность материала при изгибе (15,14 МПа), сохраняя высокую величину растяжимости (0,15%).

Дополнительное включение пиритового шлама увеличивает прочность композитного материала при изгибе ещё больше (23,77 МПа против исходных 11 МПа), а также повышает предельное удлинение (до 0,526%). Замедлители реакции кристаллизации снижают прочность при изгибе (до 14,2 МПа) и уменьшают модуль упругости (Еи = $1{,}2\times10^4$ МПа), одновременно повышая максимальное удлинение при растяжении (до 0,47%).

На основании полученных результатов рекомендуется использовать деревянные стеклопластики в конструкциях деревянных шпал путей трамвая. Этот материал способствует увеличению срока эксплуатации шпал и замене традиционных древесины и железобетона [22]. Конструкция шпал с ненагруженной центральной зоной обладает наилучшими запасами прочности при реальных эксплуатационных условиях. Поскольку изменения формы поперечного сечения незначительны, технология изготовления может быть оптимизирована путём придания шпале формы постоянного сечения типа бруса. Предложенная конструкция трамвайных шпал из деревянного стеклопластика соответствует необходимым требованиям прочности.

Список использованных источников

1. Косой Ю.М. Рельсовые пути трамваев и внутризаводских дорог. М.: Транспорт, 1987. 296 с.
2. Елшин И.М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве. М.: Стройиздат, 1980. 192 с.
3. Соломатов В.И., Потапов Ю.Б., Чощиев К.Ч., Бабаев М.Г. Эффективные композиционные строительные материалы и конструкции. Ашхабад: ЫЛЫМ, 1991. 266 с.
4. Патуроев В. В. Полимербетоны. М.: Стройиздат, 1987. 286 с.
5. Лившиц Я.Д., Виноградский Д.Ю., Руденко Ю.Д. Автодорожные мосты (проезжая часть). Киев: Будивельник, 1980. 160 с.
6. Харчевников В.И. Основы структурообразования стекловолокнистых полимербетонов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1987. № 11. С. 62–66.
7. Патент РФ № 2032638. Состав для композиционного материала / Харчевников В.И., Плужникова О.П. Заявл. 24.03.1992. Опубл. 10.04.1995. Бюл. № 4.
8. Патент РФ 203278. Строительный элемент / Харчевников В.И., Плужникова О.П. Заявл. 04.03.1992. Опубл. 10.04.1995. Бюл. № 4.
9. Харчевников В.И., Зобов С.Ю., Бухонов Ю.Н., Плужникова О.П., Стородубцева Т.Н. Комплексное использование отходов древесины – задача времени. Проблемы ресурсосберегающих и экол. чистых технологий на предприятиях лесн. комплекса и подготовка лесоинженер. кадров: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 1994. С. 54–56.
10. Харчевников В.И., Бондарев Б.А., Бухонов Ю.Н., Зобов С.Ю., Плужникова О.П. Древесностекловолокнистый полимербетон. Современные проблемы строительного материала. Материалы Междунар. научно-техн. конф. Самара, 1995. С. 24–27.
11. Науменко В. С. Взаимодействие рельсового пути с подвижным составом ГЭТ и расчет пути на прочность. М.: МЭИ, 1973. 113 с.
12. Бондарев Б.А., Харчевников В.И., Стородубцева Т.Н., Комаров П.В. Долговечность композиционных материалов на основе отходов древесины в конструкциях специального. Липецк: ЛГТУ, 2007. 200 с.
13. Патент РФ № 2098375. Состав для композиционного материала / В.И. Харчевников, Т.Н. Стородубцева, С.С. Никулин, Б.Н. Бондарев. Воронеж: Воронежская гос. лесоотехн. акад. Заявл. 06.07.1995. Опубл. 10.12. 1997. Бюл. № 34.
14. Бондарев Б.А., Бондарев А.Б. Сапрыкин Р.Ю., Корвяков Ф.И., Харчевников В.И. Прогнозирование циклической долговечности железобетонных шпал из древесно-стекловолокнистых композиционных материалов // Строительные материалы. 2014. № 7 (715). С. 78–81.
15. Стородубцева Т.Н., Арапов К.В. Применение современных материалов в изготовлении шпал для метрополитена. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. Воронеж, 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 105–108.
16. Борков П.В., Комаров П.В., Бондарев А.Б., Бондарев Б.А. Ускоренный метод прогнозирования долговечности полимерных композиционных материалов // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2013. № 3 (31). С. 46.
17. Худяков В.А., Прошин А.П., Кислицына С.Н. Современные композиционные строительные

материалы. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 220 с. 18. Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А., Елфимова М.В. Композиционные материалы как один из способов решения проблемы реализации отходов лесной промышленности // Воронежский научно-технический вестник. 2014. № 3 (9). С. 79–83.

19. Стородубцева Т.Н., Харчевников В.И. Водостойкий композиционный материал на основе отходов лесного комплекса для железнодорожных шпал // Известия вузов. Строительство. 2002. № 12. С. 74–78.

20. Хрулев В. М. Технология и свойства композиционных материалов для строительства. Уфа: ТАУ, 2001. 168 с.

21. Прочность и деформативность конструкций с применением пластмасс / Под ред. А.Б. Губенко. М.: Стройиздат, 1966. 296 с.

22. Бартенев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластических материалов. М.: Химия, 1964. 387 с.

УДК 528.541, 528.2/.5
36.23.27 Применение геодезии, аэросъемки и фотограмметрии в строительстве

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ МАЧТ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО НИВЕЛИРА

Вахитов Артур Расимович
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет» г.Уфа, студент
e-mail: malg22@yandex.ru

В условиях Крайнего Севера строительство и эксплуатация инженерных сооружений, в том числе фундаментов мачт, осложняются условиями вечной мерзлоты. Вечномерзлые грунты, резкие сезонные колебания температур, высокая влажность и техногенные воздействия приводят к развитию деформационных процессов в основаниях сооружений.

Объекты исследования, мачты связи высотой 40 м, расположены на территории Тазовского нефтегазоконденсатного месторождения в Тазовском районе ЯНАО в 525 км к северо-востоку от Салехарда. Ближайшим населенным пунктом является поселок Газ-Сале, расположенный в 3 км от него.

Вертикальность мачт связи является одним из ключевых параметров, от которого зависит надёжность и безопасность ее эксплуатации. Отклонение от вертикали может привести к возникновению дополнительных нагрузок, что снижает устойчивость и, в крайних случаях, может привести к аварийным ситуациям. Состояние и деформация фундаментов, в большинстве случаев, является главной причиной таких отклонений.

Осадки, крены и неравномерные подвижки, оказывают непосредственное влияние на положение мачты. При возникновении неравномерной осадки или крена конструкции фундамента формируется дополнительный изгибающий момент, который приводит к отклонению ствола мачты от вертикали. Это отклонение вызывает перераспределение внутренних усилий в элементах конструкции, что может привести к увеличению нагрузки и к риску потери устойчивости мачты.

Наблюдения за деформациями оснований и фундаментов, несущих конструкций сооружений ведутся при помощи сети реперов глубинных и деформационных марок с помощью электронного нивелира Leica (рисунок 1).

В условиях Крайнего Севера, где грунты представлены многолетнемёрзлыми породами, а сезонные процессы промерзания и оттаивания оказывают значительное влияние на устойчивость сооружений, особое значение приобретает корректное заложение реперов для мониторинга деформаций. Поверхностные реперы, как правило, подвержены сезонным перемещениям из-за изменений температуры и влажности деятельного слоя грунта. Для повышения точности и надёжности наблюдений рекомендуется использовать глубинные реперы, заложенные ниже уровня сезонных колебаний температур.

Реперы глубинные размещаются там, где невозможно их разрушение, повреждение или подтопление, по возможности в стороне от автомобильных проездов и теплового влияния инженерных сооружений.

Репер представляет собой трубу с навивкой, служащей анкером на нижнем конце, к верхнему концу репера приваривается крышка, на которую монтируется стойка в виде полусферической головки. Репер защищен от сил морозного пучения гильзой. Схема конструкции глубинных реперов и его установка приведена на рисунке 2.

а)



б)

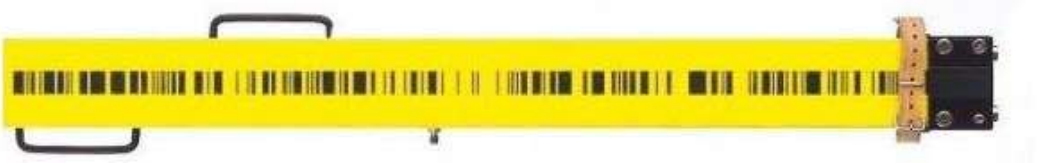


Рисунок 1 - Комплект электронного нивелира Leica:
а – Внешний вид прибора, б – инварная рейка с термостатированным корпусом

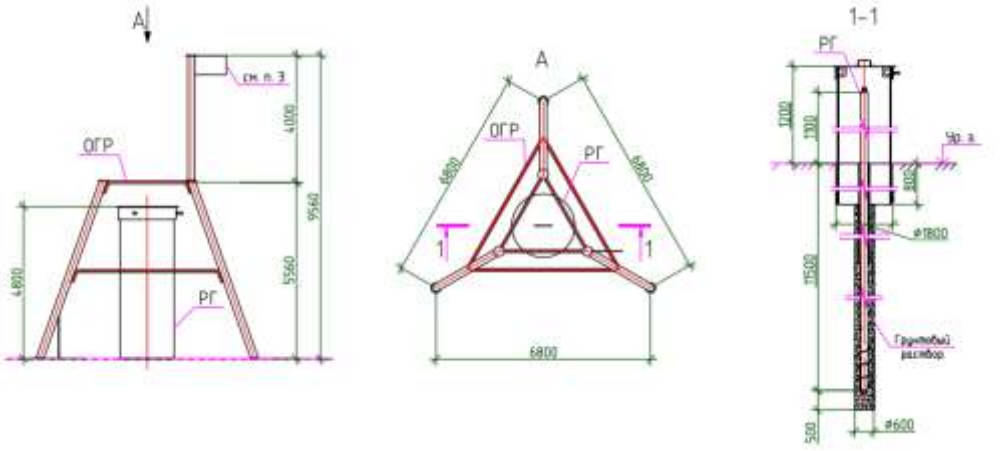


Рисунок 2 - Конструкция глубинных реперов и его установка

После установки реперов на них передаются высотные отметки от ближайших пунктов государственной геодезической сети (ГГС) или принимается условная система высот. В процессе измерения деформаций следует контролировать устойчивость исходных реперов для каждого цикла наблюдений.

Геодезические наблюдения по деформационным маркам геотехнического мониторинга (ГТМ) выполняются нивелированием II класса с использованием геодезических приборов и реек с точностью измерения превышений 0,3 мм на 1 км двойного хода (рисунок 3).

Съемка деформационных марок выполнялась замкнутым ходом соблюдая требования II класса точности, а именно:

- длина визирного луча от нивелира до рейки не должна превышать 40м, а высота над препятствиями не менее 0,8м;
- неравенство плеч на одной станции (расстояний от нивелира до реек), не должно превышать 0,4м;
- допускается не более 3 станций незамкнутого нивелирного хода;

Результаты геодезических измерений вносятся в специализированную базу данных.

Результаты измерений высотного положения деформационных марок сопоставляются с результатами ранее выполненных замеров. По результатам сопоставительного анализа делаются выводы о стабильности фундаментов. Высокоточная электронная и оптическая аппаратура прошла периодическую проверку в специализированных сертифицированных лабораториях или у производителя оборудования (таблица 1).

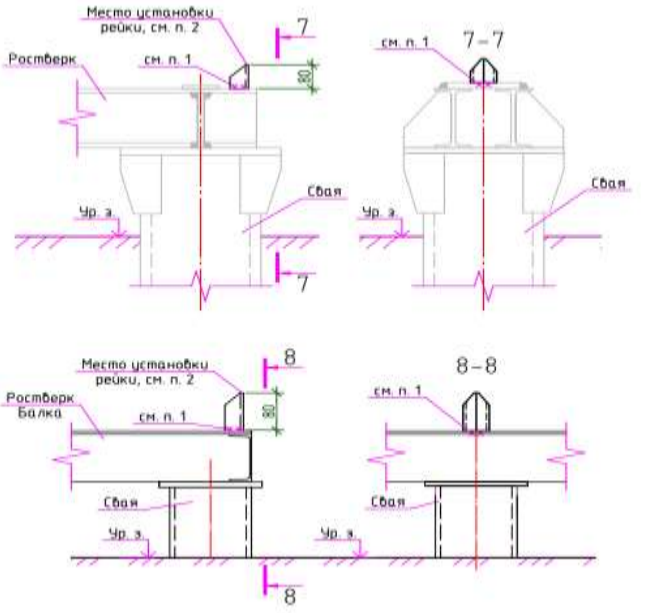


Рисунок 3 – Пример расположения деформационных марок на фундаментах мачт связи

Таблица 1

Ведомость деформационных марок

Мачта связи М2, М3, М6.								
N N п/п	Название позиции	Номер деформационных марок	Отметка"0" цикла, м	Отметка "1" цикла, м	Отметка "2"цикла, м	Отметка "3" цикла, м	Разница отметок с предыдущим циклом, мм	Разница отметок с нулевым циклом, мм
1	М2	М2_ДМ1	49.0428	49.0439	49.0407	49.0399	-1	-3
2		М2_ДМ2	49.0480	49.0478	49.0467	49.0444	-2	-4
3		М2_ДМ3	49.0426	49.0453	49.0414	49.0423	1	0
4		М2_ДМ4	49.0465	49.0449	49.0461	49.0436	-2	-3
5	М3	М3_ДМ1	49.2730	49.2706	49.2742	49.2739	0	1
6		М3_ДМ2	49.2767	49.2765	49.2777	49.2786	1	2
7		М3_ДМ3	49.2767	49.2738	49.2820	49.2805	-2	4
8		М3_ДМ4	49.2710	49.2706	49.2756	49.2748	-1	4
17	М6	М6_ДМ1	49.0918	49.0998	49.0985	49.0989	0	7
18		М6_ДМ2	49.0852	49.0933	49.0922	49.0929	1	8
19		М6_ДМ3	49.0812	49.0898	49.0887	49.0885	0	7
20		М6_ДМ4	49.0880	49.0956	49.0925	49.0931	1	5

Деформационные марки устанавливаются согласно требованиям проектной документации. Они жестко крепятся к конструкциям фундаментов или надземным несущим конструкциям сооружений с учетом удобного подхода с геодезическим инструментом.

Конструкции деформационных марок разработаны с учетом обеспечения долговременной сохранности и устойчивости. Основным условием при устройстве деформационных марок является возможность строго вертикальной установки на неё нивелировочной рейке. Установку деформационных марок на сооружениях следует выполнять после полного монтажа всех сооружений и технологического оборудования. Схема установки деформационных марок приведена на рисунке 4.

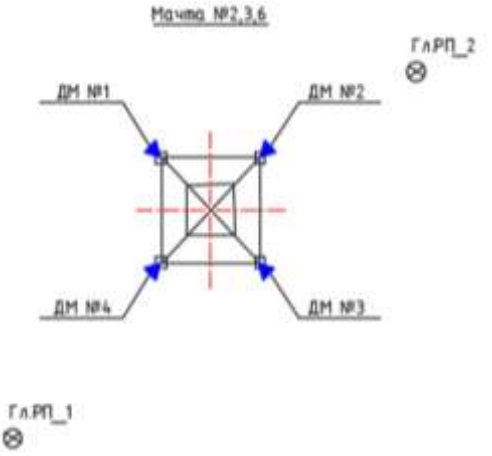


Рисунок 4 - Схема расположения деформационных марок на мачтах связи

Наблюдения за деформациями проводятся по методике ГОСТ 24846-2019 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» Класс точности измерений - II. Согласно СП 25.13330.2020 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», измерение осадок фундаментов в период строительства производить ежемесячно. В период эксплуатации первые три года не менее четырех раз в год, в дальнейшем - два раза в год Значения предельных деформаций оснований зданий и сооружений принимаются в соответствии с требованиями СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений», СП 43.13330.2012 «СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий».

Если деформации превышают 80 % от допустимых и имеют незатухающий характер, следует установить и устранить причины этих явлений. В случае невозможности их устранения, необходимо разработать дополнительные инженерные мероприятия, исключающие дальнейшее негативное развитие деформаций

на практических наблюдениях увидели взаимосвязь фундамента и вертикальности мачт связи

Таким образом, контроль вертикальности мачты — это прямой индикатор состояния её фундамента. Любое заметное отклонение от вертикали является сигналом для немедленной проверки основания и принятия мер по укреплению.

Анализ полученных данных показал, что наибольшие осадки фундаментов наблюдаются в весенне-летний период, связанный с оттаиванием деятельного слоя грунта. Максимальные значения осадок составили до 8 мм за сезон, что не превышает допустимых значений для данного типа сооружений.

Преимущества электронного нивелира

- высокая точность измерений (до 0,1 мм);
- автоматизация процесса записи данных и минимизация человеческого фактора;
- возможность работы в условиях низких температур и ограниченной видимости;
- быстрая обработка результатов и формирование отчётов;

Мониторинг состояния вертикальности мачты связи с помощью периодической съёмки деформационных марок электронным нивелиром является эффективным и высокоточным методом контроля за техническим состоянием сооружения. Такой подход позволяет своевременно выявлять отклонения от проектного положения, связанные с осадкой фундаментов, воздействием атмосферных нагрузок, а

также естественным старением материалов. Регулярное проведение геодезических наблюдений обеспечивает высокий уровень безопасности эксплуатации мачты, способствует предотвращению аварийных ситуаций и позволяет оптимизировать планирование ремонтных и профилактических работ. Внедрение данного метода в практику эксплуатации антенно-мачтовых сооружений — залог их надёжной и долговечной работы в течение всего срока службы.

Список использованных источников

1. Иванов А.А., Петров Б.В. Геодезический мониторинг сооружений в условиях вечной мерзлоты. — М.: Издательство АСВ, 2020. — 180 с.
2. Электронные нивелиры: теория и практика / Под ред. С.В. Кузнецова. — Новосибирск: Наука, 2019. — 210 с.
3. Методические рекомендации по наблюдению за деформациями сооружений на Крайнем Севере. — Тюмень: ТюмГАСУ, 2021. — 45 с.

УДК 624.073.5
67.11.31: Бетонные и железобетонные конструкции

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРЕКРЫТИЯ ПЕРВОГО ЭТАЖА ЗДАНИЯ БЛОКА ШКОЛЫ НА ОСНОВАНИИ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА КАРАСА ЗДАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ САПР С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ ОСНОВАНИЯ И БЕЗ ЕЕ УЧЕТА

Волокиткин Павел Сергеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: volo007.volokitin@yandex.ru

Симонов Евгений Романович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: Simonov.Zhny@yandex.ru

Сравнительный анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) перекрытия первого этажа здания школы с учётом и без учёта податливости основания требует проведения численного моделирования с использованием специализированных программных комплексов и учёта ряда факторов.

В качестве объекта исследования выбран несущий каркас одного из блоков здания школы.

В рамках исследования создание каркаса здания осуществлялось в 2-х вариациях:

1) каркас здания на неподвижных опорах;

2) каркас здания на податливом основании (взаимосвязь каркаса здания через ленточный фундамент с основанием осуществляется посредством системы «Грунт» программного комплекса «ЛИРА-САПР», которая с учетом грунтовых условий и физико-механических характеристик грунта и нагрузки, вычисляет коэффициенты постели C_1 и C_2). Фундаментные плиты зданий (ленточный фундамент в том числе), как правило, моделируются в виде пластинчатых элементов на упругом основании. Роль вертикальной связи выполняют граничные условия виде коэффициентов постели.

Во втором варианте каркаса в качестве грунта основания принят суглинок твердый с I категорией сложности инженерно-геологических условий. Инженерно-геологический разрез со схемой глубины заложения фундамента и расположением границ слоев грунта относительно подошвы фундамента представлены на рисунке 1.

Статический расчет несущего каркаса здания выполнялся в программном комплексе «ЛИРА-САПР». Нагрузки, действующие на каркас, определялись на основе архитектурных решений сотсава ограждающих конструкций и нормативной документации [2].

Создание архитектурной модели здания производилось в ПК «САПФИР», входящей в пакет программы «ЛИРА-САПР», и служащей для создания архитектурной модели здания, преобразованием ее в аналитическую модель и последующей передачей в «ЛИРА-САПР» для статического расчета. Архитектурная модель представляет собой совокупность элементов колонн, балок, междуэтажных перекрытий из монолитного железобетона и несущих стен, а также плит ленточного фундамента. В аналитической модели данные элементы задавались конечными элементами, представленными в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика конечных элементов модели здания

Элемент модели	Элемент аналитической модели			
	Тип элемента	Жесткость элемента	Признак системы	Степени свободы (КЭ)
Колонна	Пространственный стержень	Квадратного сечения размером 0,4х0,4 м; 0,4х0,5 м; 0,4х0,9 м, бетон тяжелый (В25)	КЭ 10	X, Y, Z, U_x, U_y, U_z
Несущая стена	4-х угольный КЭ оболочки	Бетон тяжелый (В25) толщиной 0,18 м	КЭ 44	X, Y, Z, U_x, U_y, U_z
Балка	Пространственный стержень	Прямоугольного сечения размером 0,4х0,5 м, бетон тяжелый (В25)	КЭ 10	X, Y, Z, U_x, U_y, U_z
Плита перекрытия	4-х угольный КЭ оболочки	Бетон тяжелый (В25) толщиной 0,2 м)	КЭ 44	X, Y, Z, U_x, U_y, U_z
Плита перекрытия	4-х угольный КЭ оболочки	Бетон тяжелый (В25) толщиной 0,2 м)	КЭ 44	X, Y, Z, U_x, U_y, U_z
Капитель	4-х угольный КЭ оболочки	Бетон тяжелый (В25) толщиной 0,5 м)	КЭ 44	X, Y, Z, U_x, U_y, U_z
Ленточный фундамент	4-х угольный КЭ оболочки	Бетон тяжелый (В25) толщиной 0,6 м	КЭ 44	X, Y, Z, U_x, U_y, U_z

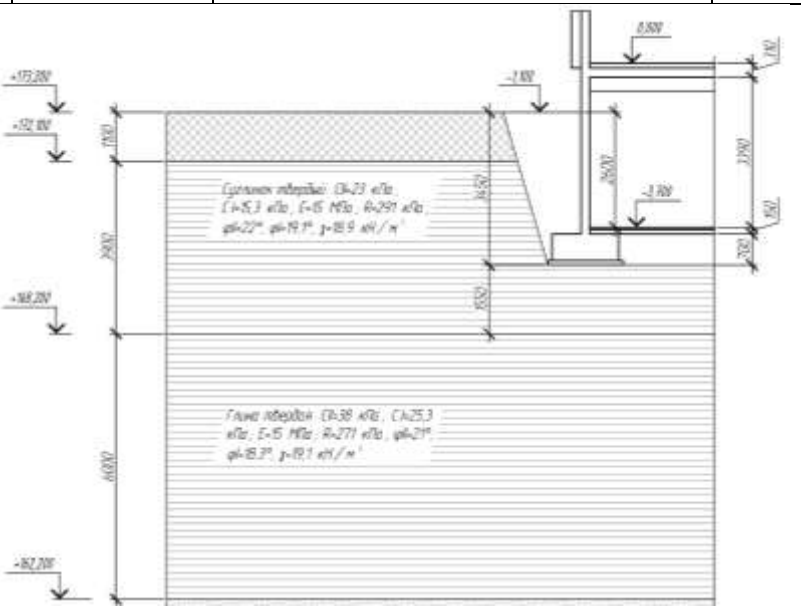


Рисунок 1 - Схема глубины заложения фундамента и расположение границ слоев грунта относительно подошвы фундамента

Варианты каркаса здания в ПК «ЛИРА-САПР» представлены на рисунке 2.

а) б)

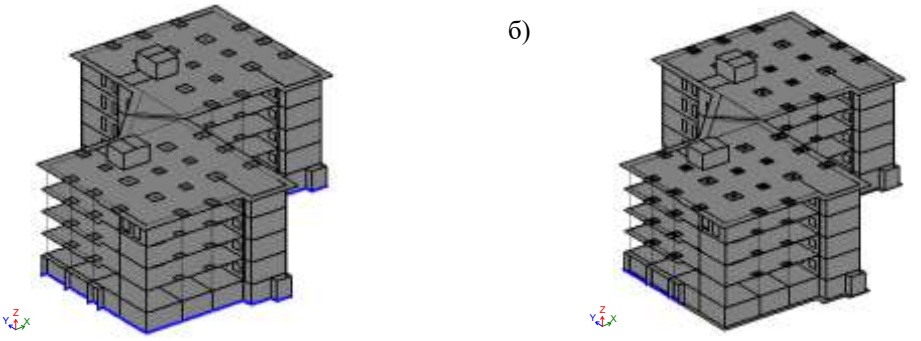


Рисунок 2 - Варианты каркаса здания в ПК «ЛИРА-САПР»
а – вариант 1; *б* – вариант 2

На рисунках 3 и 4 представлено напряженно-деформированное состояние плит перекрытия, максимальные усилия в элементах пластин перекрытия N_x и N_y.

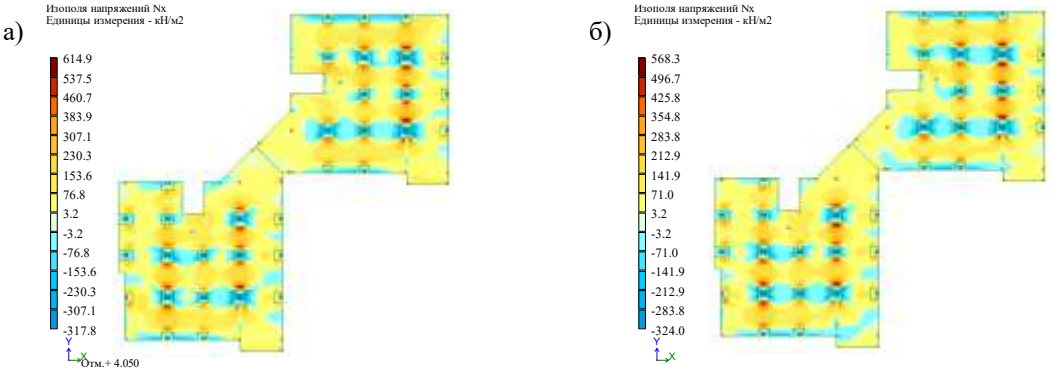


Рисунок 3 - Мозаики продольных усилий в элементах пластин перекрытия N_x (кН/м^2)
а – вариант 1; *б* – вариант 2

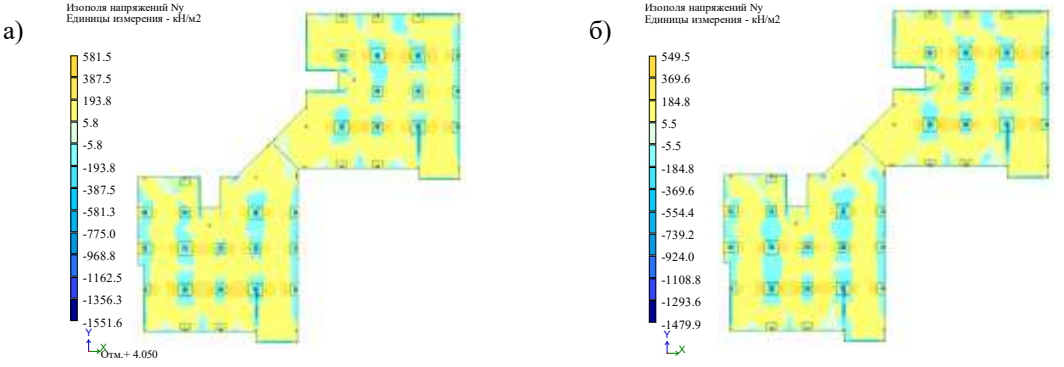


Рисунок 4 - Мозаики продольных усилий в элементах пластин перекрытия N_y (кН/м^2)
а – вариант 1; *б* – вариант 2

Как видно из рисунков 3 и 4 мозаики распределения продольных усилий в элементах пластин перекрытия по характеру распределения в целом схожи у вариантов 1 и 2. Отличие абсолютных максимальных значений внутренних усилий у варианта 2 сравнительно с вариантом 1 составляет: для внутреннего силового фактора N_x – увеличение не более чем на 1,8 % и уменьшение не более чем на 7,6 %; для внутреннего силового фактора N_y – уменьшение на 4,6…5,5 %;

На рисунках 5 и 6 представлено напряженно-деформированное состояние плит перекрытия, максимальные усилия в элементах пластин перекрытия M_x и M_y.

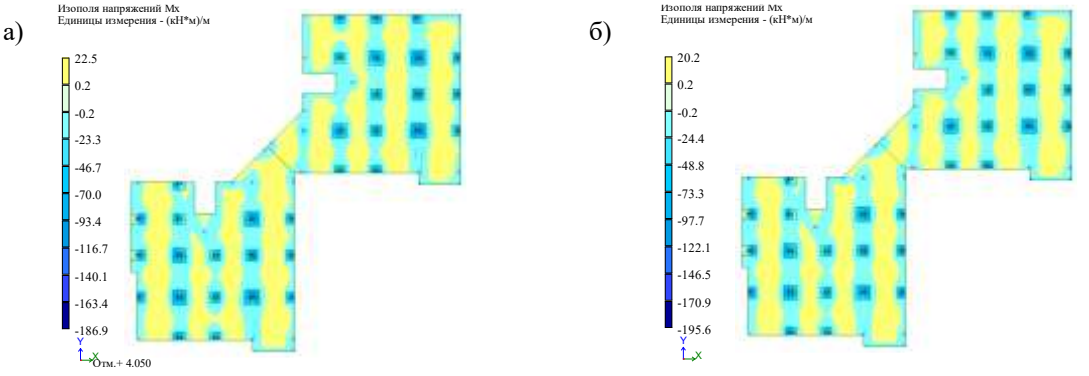
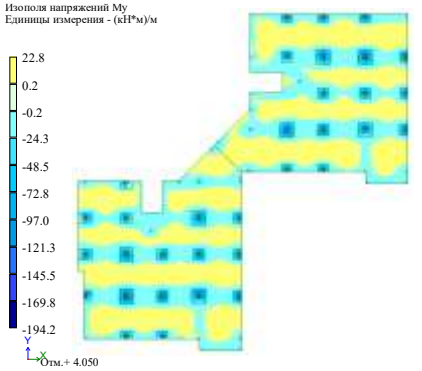


Рисунок 5 - Мозаики изгибающих моментов в элементах пластин перекрытия M_x (кН·м/м)
а – вариант 1; *б* – вариант 2

а)



б)

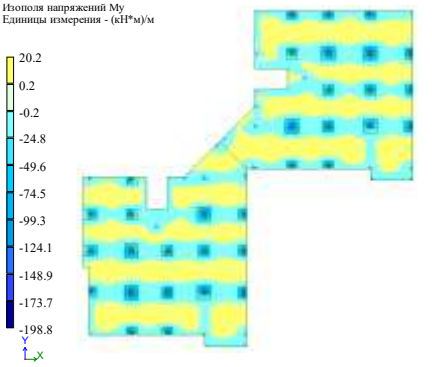
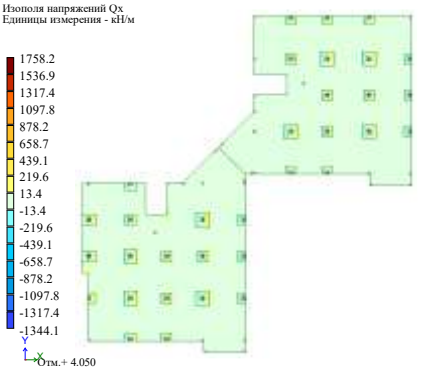


Рисунок 6 - Мозаики изгибающих моментов в элементах пластин перекрытия M_y (кН·м/м)
а – вариант 1; *б* – вариант 2

Как видно из рисунков 5 и 6 мозаики распределения изгибающих моментов в элементах пластин перекрытия по характеру распределения в целом схожи у вариантов 1 и 2. Отличие абсолютных максимальных значений внутренних усилий у варианта 2 сравнительно с вариантом 1 составляет: для внутреннего силового фактора M_x – увеличение не более чем на 4,2 % и уменьшение не более чем на 10,2 %; для внутреннего силового фактора M_y – увеличение не более чем на 2,1 % и уменьшение не более чем на 11,4 %;

На рисунках 7 и 8 представлено напряженно-деформированное состояние плит перекрытия, максимальные усилия в элементах пластин перекрытия Q_x и Q_y.

а)



б)

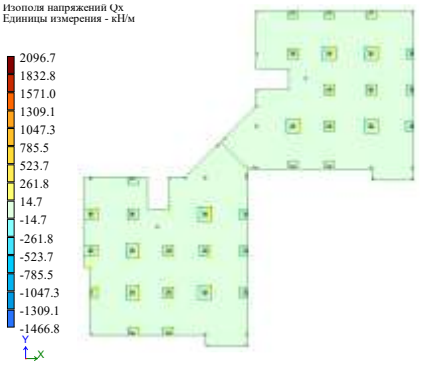
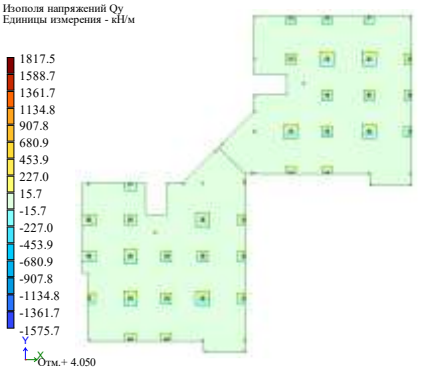


Рисунок 7 - Мозаики поперечных усилий в элементах пластин перекрытия Q_x (кН /м)
а – вариант 1; *б* – вариант 2

а)



б)

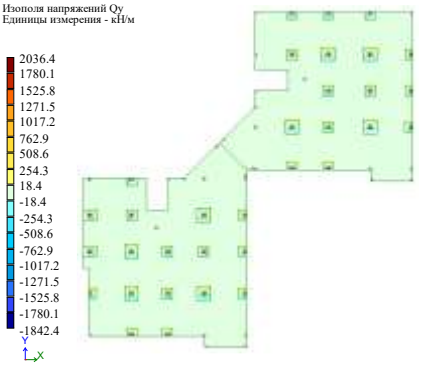


Рисунок 8 - Мозаики поперечных усилий в элементах пластин перекрытия Q_y (кН /м)
а – вариант 1; *б* – вариант 2

Как видно из рисунков 7 и 8 мозаики распределения поперечных усилий в элементах пластин перекрытия по характеру распределения в целом схожи у вариантов 1 и 2. Отличие абсолютных максимальных значений внутренних усилий у варианта 2 сравнительно с вариантом 1 составляет:

для внутреннего силового фактора Q_x – увеличение на 9,1…19,3 %;

для внутреннего силового фактора Q_y – увеличение на 12,0…16,9 %;

В целом видно, что наиболее чувствительными силовыми факторами являются изгибающие моменты и поперечные силы при расчете каркаса с учетом податливости основания, в сравнении с расчетом каркаса на неподвижных опорах (без учета податливости основания).

Данные о максимальных относительных вертикальных деформациях плиты перекрытия представлены на рисунке 9.

Как видно из рисунка 9, относительные вертикальные деформации плиты значительно отличаются у варианта 2, данный момент объясняется учетом податливости основания в варианте 2, общие деформации каркаса и осадка ленточного фундамента для варианта 2 представлена на рисунке 9. Максимальные значения вертикальных деформаций у плит обоих вариантов не превышают значения предельно допустимых деформаций, регламентируемых [2].

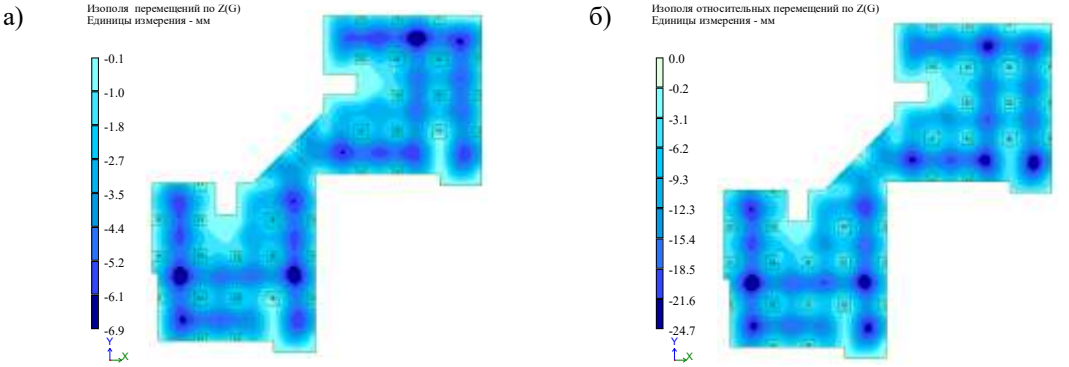


Рисунок 9 - Относительные вертикальные деформации плиты (мм)
а – вариант 1; *б* – вариант 2

Данные о максимальных абсолютных вертикальных деформациях несущего каркаса здания, а также осадки ленточного фундамента для варианта 2 представлены на рисунке 10.

Результаты расчета каркаса здания при учете податливости основания по напряженному состоянию изменяются не значительно, в отличие от картины вертикальных деформаций, тенденцию которых как в рамках отдельной плиты перекрытия, так и в рамках всего каркаса, определяет именно податливость основания.

Таким образом, учет податливости основания при наличии инженерно-геологических условий I категории сложности (рельеф участка спокойный, в основании фундамента сложено глинистыми грунтами твердой консистенции) при расчете каркаса здания малой этажности возможно не производить в случае анализа напряженного состояния плиты перекрытия, так как результаты статического расчета каркаса с учетом податливости основания и без его учета отличаются не значительно. В случае анализа деформированного состояния каркаса учет податливости основания необходим.

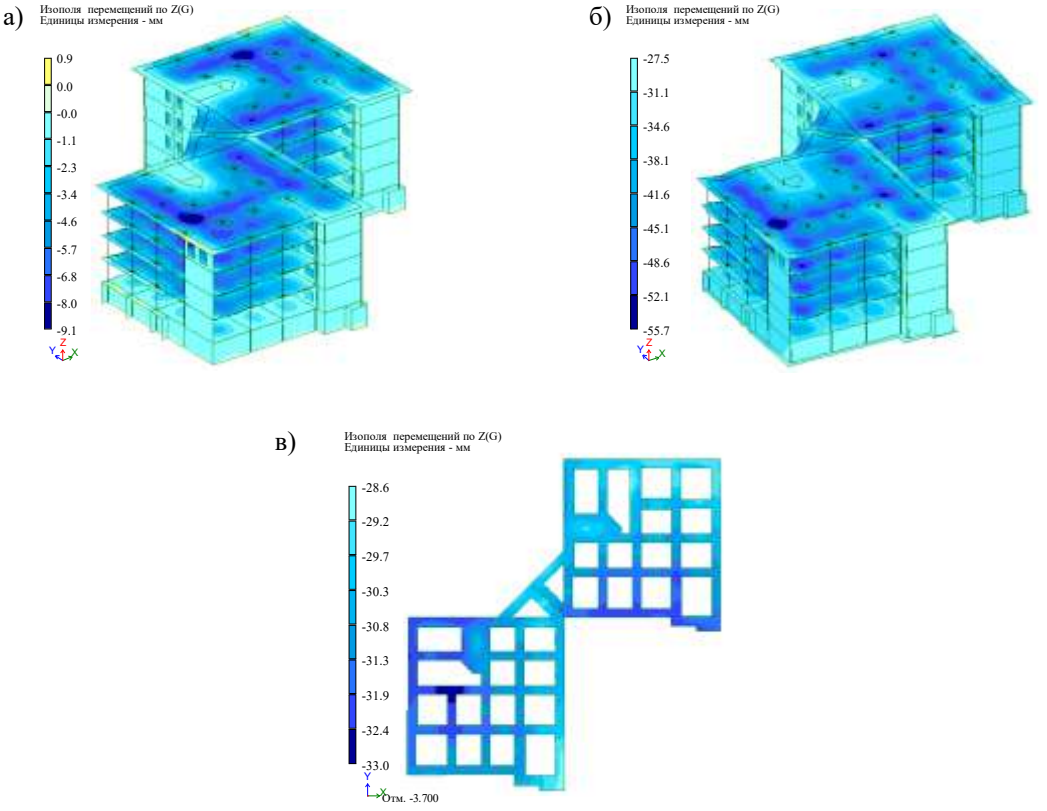


Рисунок 10 - Абсолютные вертикальные деформации несущего каркаса здания (мм)
а – вариант 1; *б* – вариант 2; *в* – осадка ленточного фундамента для варианта 2

Список использованных источников

1. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования.
2. СП 20.13330.2017 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*/Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко, 2017.

УДК 624.078.4
67.11.35: Металлические конструкции

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЕРХНЕГО РЯДОВОГО И ОПОРНОГО УЗЛОВ ФЕРМЫ ПОКРЫТИЯ ЗДАНИЯ ШКОЛЫ В ПК IDEA STATICA 24.0

Волокиткин Павел Сергеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: volo007.volokitin@yandex.ru

Симонов Евгений Романович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: Simonov.Zhny@yandex.ru

В рамках данной статьи произведен расчет и конструирование верхнего рядового и опорного узлов фермы покрытия здания школы в ПК IDEA StatiCa 24.0.

Геометрическая схема фермы с размерами представлена на рисунке 1.

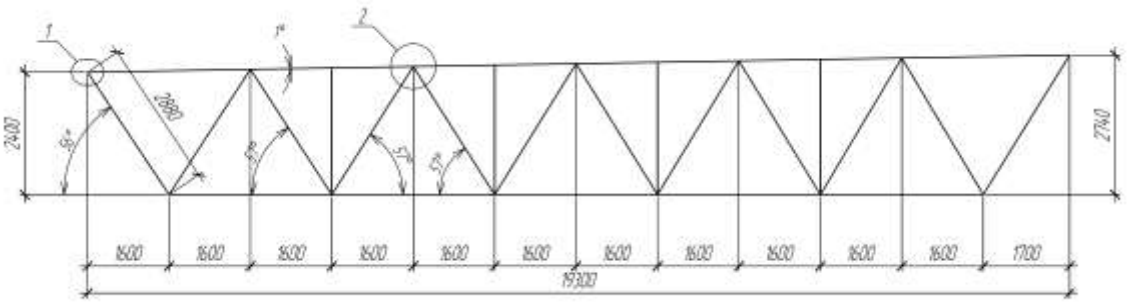


Рисунок 1 - Геометрическая схема фермы с размерами

Усилия в стержнях фермы приняты на основании статического расчета, подробно не рассматриваемого в рамках данной работы, результаты статического расчета представлены на рисунке 2.

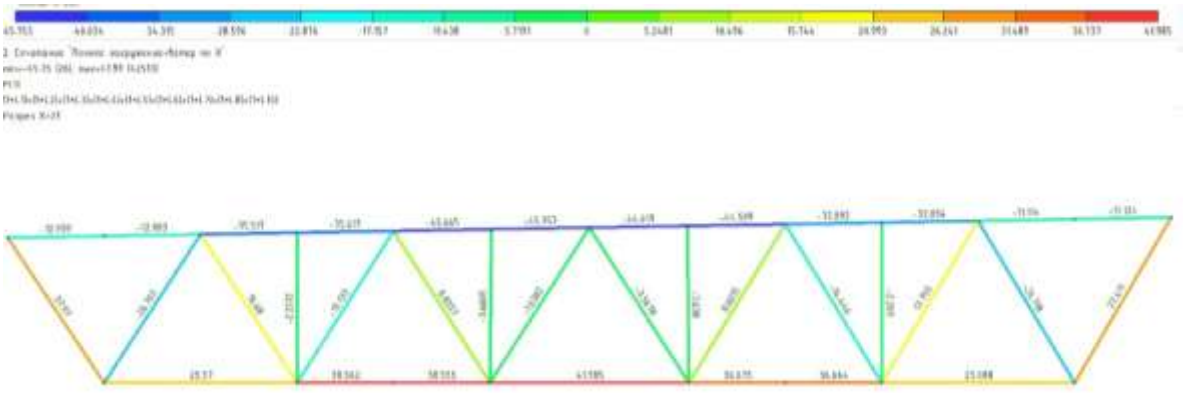


Рисунок 2 - Результаты статического расчета фермы

Статический расчет был выполнен в программном комплексе «ЛИРА». Также в комплексе был выполнен подбор сечений элементов фермы. Схема фермы с принятыми профилями сечений элементов представлена на рисунке 3.

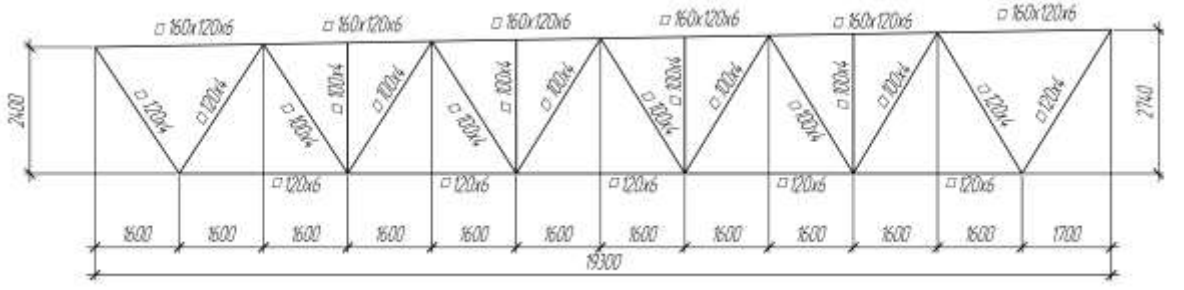


Рисунок 3 - Схема фермы с принятыми профилями сечений элементов

Профиль сечения элемента решетки (опорный раскос) при конструировании опорного узла фермы изменен с целью возможности осуществления его соединения с элементом пояса посредством сварки. Принятый профиль из гнуто сварного профиля 120х4 был изменен на гнуто сварной профиль 100х6. Прочность и устойчивость измененного стержня раскоса проверена посредством возможностей ПК IDEA StatiCa 24.0 по проверке несущей способности элемента. Результаты проверки стержня представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 - Проверка несущей способности опорного раскоса с сечением из гнуто сварного профиля 100х6 посредством возможностей ПК IDEA StatiCa 24.0

Конструкция опорного узла фермы (узел 1 на рисунке 1) с размерами элементов узла, катетами швов, диаметрами болтов представлена на рисунке 5.

Конструкция опорного узла фермы в 3D исполнении в ПК IDEA StatiCa 24.0 с учетом параметров узла, обозначенных на рисунке 5, представлена на рисунке 6.

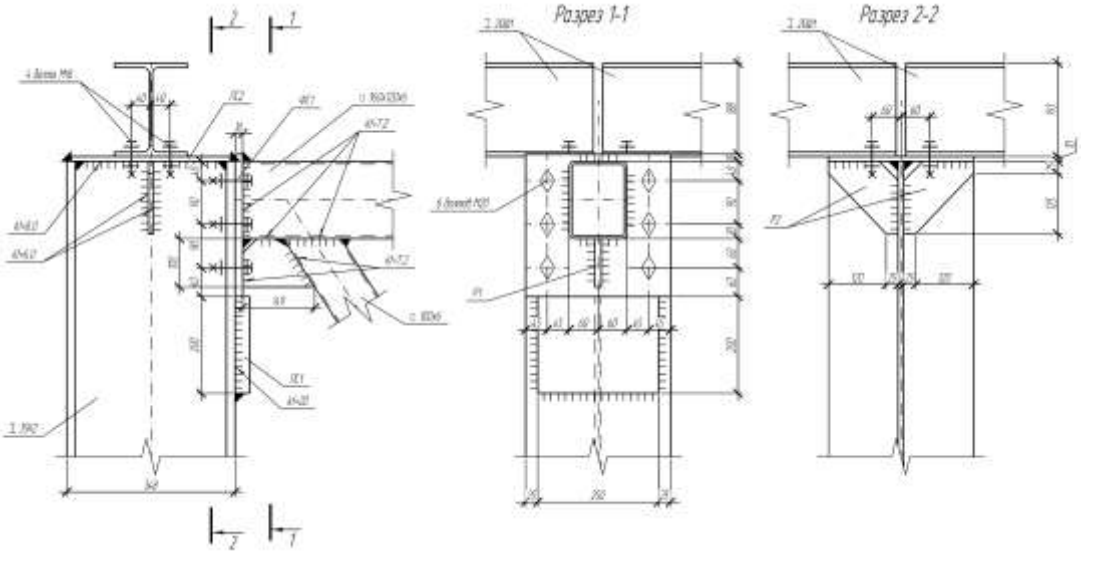


Рисунок 5 - Конструкция опорного узла фермы (узел 1)

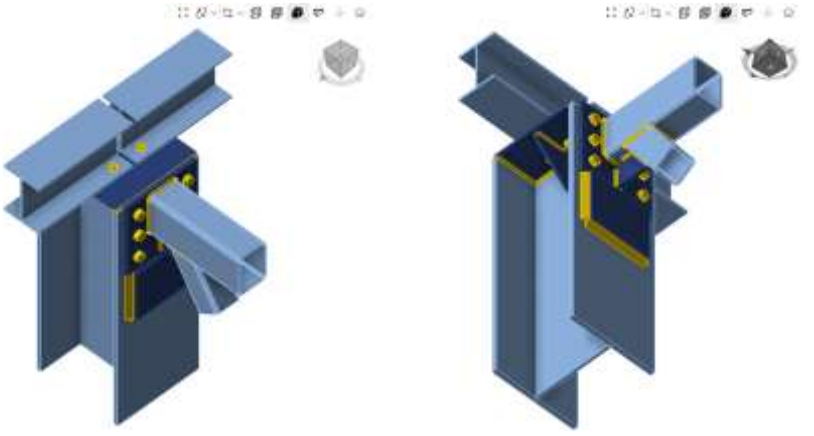


Рисунок 6 - Конструкция опорного узла фермы (узел 1) в ПК IDEA StatiCa 24.0

Результаты расчета узла 1 в ПК IDEA StatiCa 24.0 представлены на рисунке 7.

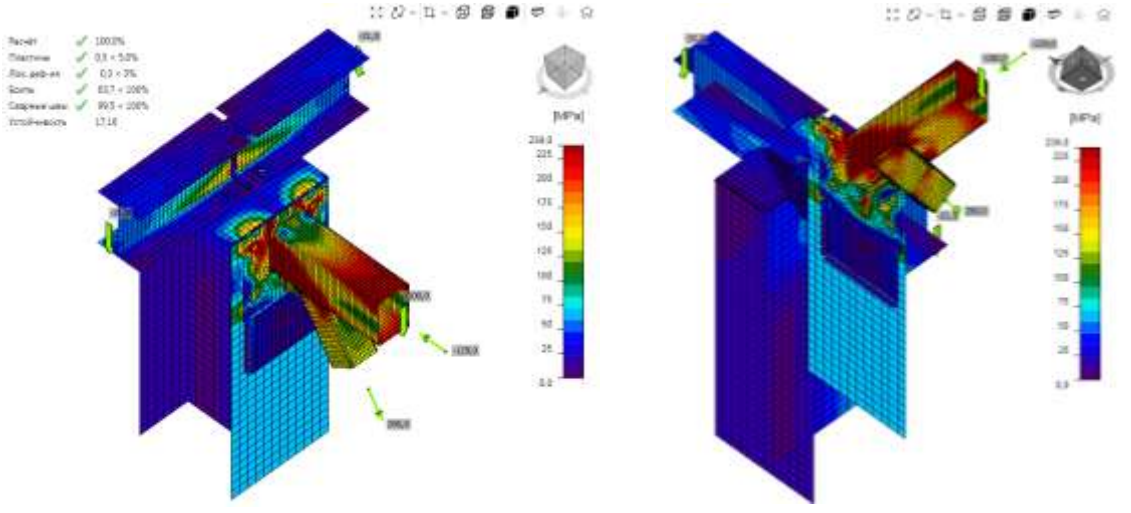


Рисунок 7 - Результаты расчета узла 1 в ПК IDEA StatiCa 24.0

Фактические показатели напряженно-деформированного состояния относительно предельных значений составили:

пластическая деформация – 0,5 % < 5,0 %;

локальная пластическая деформация – 0,3 % < 3,0 %;

использование несущей способности болтов – 63,7 % < 100 %;

использование несущей способности сварных швов – 99,5 % < 100 %;

минимальная местная устойчивость – 17,16 > 1.

На основе результатов конструирования и расчета был запроектирован опорный узел фермы. Принятые, согласно рисунку 5, параметры опорного узла фермы обеспечивают несущую способность узла при воздействии опасного расчетного сочетания нагрузок.

Конструкция верхнего рядового узла фермы (узел 2 на рисунке 1) с размерами элементов узла, катетами швов, диаметрами болтов представлена на рисунке 8.

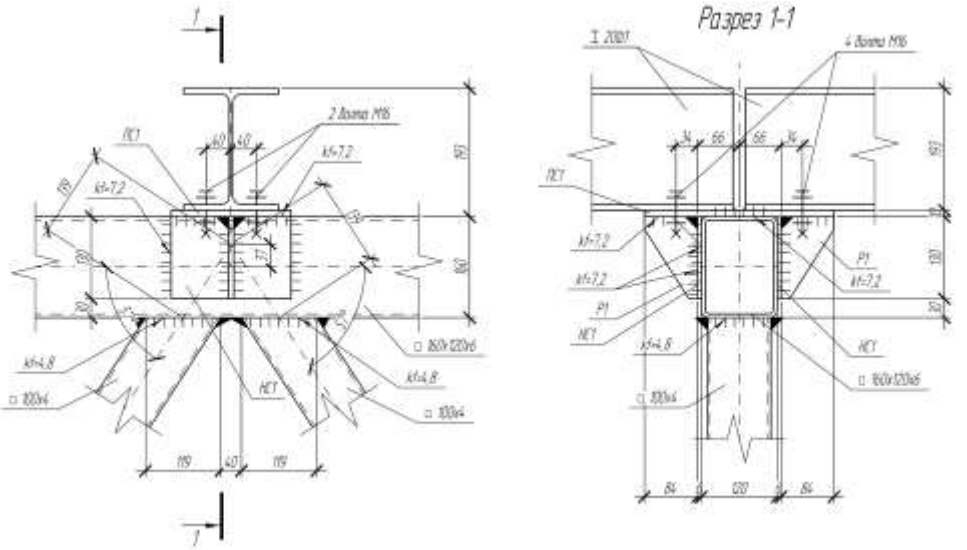


Рисунок 8 - Конструкция верхнего рядового узла фермы (узел 2)

Конструкция верхнего рядового узла фермы в 3D исполнении в ПК IDEA StatiCa 24.0 с учетом параметров узла, обозначенных на рисунке 8, представлена на рисунке 9.

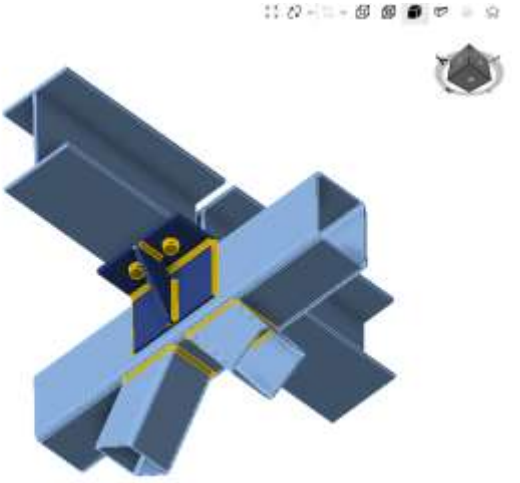


Рисунок 9 - Конструкция верхнего рядового узла фермы (узел 2) в ПК IDEA StatiCa 24.0

Результаты расчета узла 2 в ПК IDEA StatiCa 24.0 представлены на рисунке 10.

Фактические показатели напряженно-деформированного состояния относительно предельных значений составили:

пластическая деформация – 0,2 % < 5,0 %;

локальная пластическая деформация – 0,1 % < 3,0 %;

использование несущей способности болтов – 2,8 % < 100 %;

использование несущей способности сварных швов – 97,4 % < 100 %;

минимальная местная устойчивость – 11,28 > 1.

На основе результатов конструирования и расчета был запроектирован верхний рядовой узел фермы. Принятые, согласно рисунку 8, параметры верхнего рядового узла фермы обеспечивают несущую способность узла при воздействии опасного расчетного сочетания нагрузок.

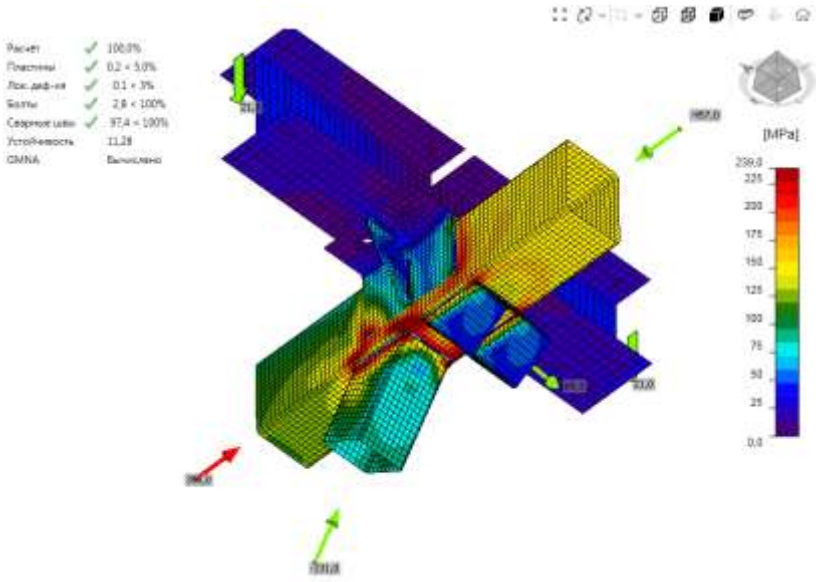


Рисунок 10 - Результаты расчета узла 2 в ПК IDEA StatiCa 24.0

Список использованных источников:

1. СП 20.13330.2017 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*/Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко, 2017.

2. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменением N 1). Свод правил/ Институт ОАО "НИЦ "Строительство", ЦНИИПСК им.Мельникова. М.: 2017. 55 с.

УДК 624.042
67.03.03 Теория расчета сооружений и конструкций

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ МНОГОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ РАМНО-СВЯЗЕВОЙ СХЕМЫ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Горденков Кирилл Александрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант

Расчет В современном промышленном и гражданском строительстве остро стоит проблема повышения требований надёжности и безопасности зданий и сооружений. Прогрессирующее (лавинообразное) обрушение – локальное разрушение одного элемента, которое может привести к полному обрушению всего здания или его значимой части, является одним из наиболее опасных видов аварийных ситуаций. Обеспечение конструктивной безопасности зданий при особых воздействиях стало обязательным требованием российских строительных норм.

В Российской Федерации в 2017 году был введен в действие СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия», а в 2018 году – СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования». Именно эти документы устанавливают необходимость расчета на прогрессирующее обрушение зданий с повышенным уровнем ответственности, к которым относятся большое количество промышленных зданий с массовым пребыванием людей или опасными технологическими процессами.

Крупные аварии на территории России и стран СНГ в начале XXI века (обрушения аквапарка «Трансвааль-парк» в 2004 г., Басманного рынка в 2006 г., ТРЦ «Зимняя вишня» в 2018 г., галереи дробильного цеха Норильской обогатительной фабрики в 2021 г.) наглядно продемонстрировали недостаточную устойчивость зданий к прогрессирующему обрушению и необходимость совершенствования методов расчета.

Существующие методы расчета на прогрессирующее обрушение

Согласно СП 385.1325800.2018, расчет на прогрессирующее обрушение может выполняться одним из трех методов:

Статический метод – удаление элемента и статический расчет оставшейся системы без учета динамических эффектов;

Квазистатический метод – удаление элемента с применением динамических коэффициентов к нагрузкам или перемещениям;

Динамический метод – полный линейный или нелинейный динамический расчет с учетом инерционных сил и зависимости усилий от времени.

Сущность статического метода заключается в удалении из расчетной схемы элемента и последующем статическом расчете оставшейся системы под действием всех приложенных нагрузок. Динамические эффекты при этом не учитываются. Преимуществом метода является минимальное машинное время расчета и возможность быстрого анализа большого числа сценариев. Недостатком метода является то, что он не учитывает динамический характер нагружения при внезапном удалении элемента и может приводить к неконсервативной оценке несущей способности.

Описание объекта исследования

В качестве объекта исследования принят многоэтажный металлический каркас промышленного здания с рамно-связевой конструктивной схемой. Основные геометрические параметры каркаса:

– количество этажей – 4;

– габаритные размеры здания в плане – 18 × 42 м;

– шаг колонн в поперечном и продольном направлениях – 6 м;

– высота этажа – 4 м;

– общая высота здания от отметки земли до верха покрытия – 18,1 м;

– площадь застройки – 756 м².

Конструктивная схема здания включает в себя следующие основные элементы:

– систему несущих рам в поперечном направлении (металлические колонны и главные балки, соединенные жесткими узлами);

– ферменные покрытия из трапецеидальных металлических ферм пролетом 18 м;

– систему вертикальных и горизонтальных связей;

– элементы второстепенных конструкций (прогоны, главные балки).

Материалы конструкций: для обеспечения требуемой несущей способности при оптимальной металлоемкости применены стали двух марок в соответствии с ГОСТ 27772-2015:

– колонны каркаса: сталь марки С345;

– остальные элементы каркаса (ригели рам, элементы ферм, связи, прогоны): сталь марки С255.

Общий вид модели каркаса представлен на рисунке 1.

Описание программного комплекса

Расчет выполнен в программном комплексе «ЛИРА 10». Выбор данного программного комплекса обусловлен его широкой распространенностью в отечественной проектной практике, наличием сертифицированных модулей для расчета строительных конструкций и возможностью реализации различных методов расчета на прогрессирующее обрушение.

Расчетная модель представляет собой пространственную стержневую систему, воспроизводящую геометрию и конструктивные решения объекта исследования с высокой степенью детализации. Общее количество конечных элементов в модели составляет 1279 стержневых элементов и 1182 узлов.

Для моделирования всех стержневых элементов каркаса использован стержневой конечный элемент типа 10 по классификации программного комплекса. Данный тип элемента является универсальным стержневым элементом, предназначенным для моделирования элементов строительных конструкций, работающих на продольные усилия, изгиб в двух плоскостях, кручение и поперечный сдвиг.

Обоснование сценариев аварийного воздействия

На основе результатов статического расчета исходной схемы были выделены четыре сценария аварийного воздействия:

1. Первый сценарий предусматривал удаление фрагмента колонны первого этажа в центральной части здания. Данный вариант моделирует наиболее опасную ситуацию, связанную с потерей одного из основных вертикальных несущих элементов.

2. Второй сценарий включал удаление элемента верхнего пояса фермы покрытия. Рассматриваемый случай позволяет оценить устойчивость покрытия и характер перераспределения усилий между элементами ферменной системы.

3. Третий сценарий предусматривал удаление элемента нижнего пояса фермы. Анализ данного варианта позволяет оценить влияние локального повреждения растянутых элементов покрытия на работу пространственной системы здания.

4. Четвертый сценарий заключался в удалении фрагмента главной балки перекрытия. Данный вариант моделирует локальное разрушение элемента междуэтажного перекрытия и последующее перераспределение нагрузок на соседние конструкции.

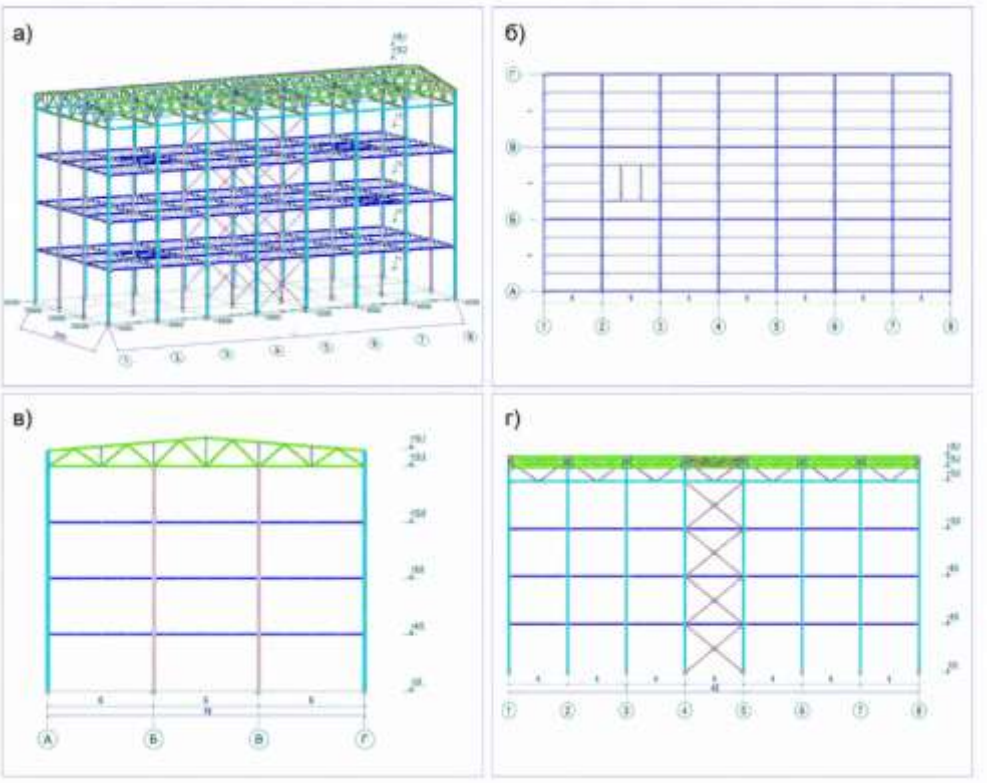


Рисунок 2 - Пространственная конечно-элементная модель каркаса: а – общий вид каркаса; б – план на отм. +4.000; в – фасад в осях А-Г; г – фасад в осях 1-8

Результаты расчета статическим методом

Для каждого из четырех сценариев выполнен статический расчет модифицированной расчетной схемы под действием всех приложенных нагрузок. Определены перемещения, усилия и проценты использования сечений.

Анализ перемещений

Максимальные перемещения по трем осям для каждого сценария представлены в таблице 1.

Таблица 1

Максимальные перемещения

Сценарий	Перемещение по оси Z, мм	Перемещение по оси Y, мм	Перемещение по оси X, мм
1. Удаление колонны К2	62,88	12,79	1,75
2. Удаление верхнего пояса	55,29	9,97	9,51
3. Удаление нижнего пояса	61,60	13,52	3,74
4. Удаление главной балки	174,44	18,85	0,71

Согласно п. 5.4 СП 385.1325800.2018, предельные перемещения при расчете на прогрессирующее обрушение принимаются равными 1/50 от пролета. Для пролета ригеля 6 м предельный прогиб составляет 120 мм, для пролета фермы 18 м – 360 мм.

Анализ таблицы 2 показывает, что по условию деформативности:

– сценарии 1, 2, 3 удовлетворяют требованиям (максимальные перемещения не превышают 120 мм для пролета 6 м и 360 мм для пролета 18 м);

– сценарий 4 не удовлетворяет требованиям (перемещение 174,44 мм превышает 120 мм для пролета ригеля 6 м).

Эпюры перемещений по оси Z 1 представлены на рисунке 2.

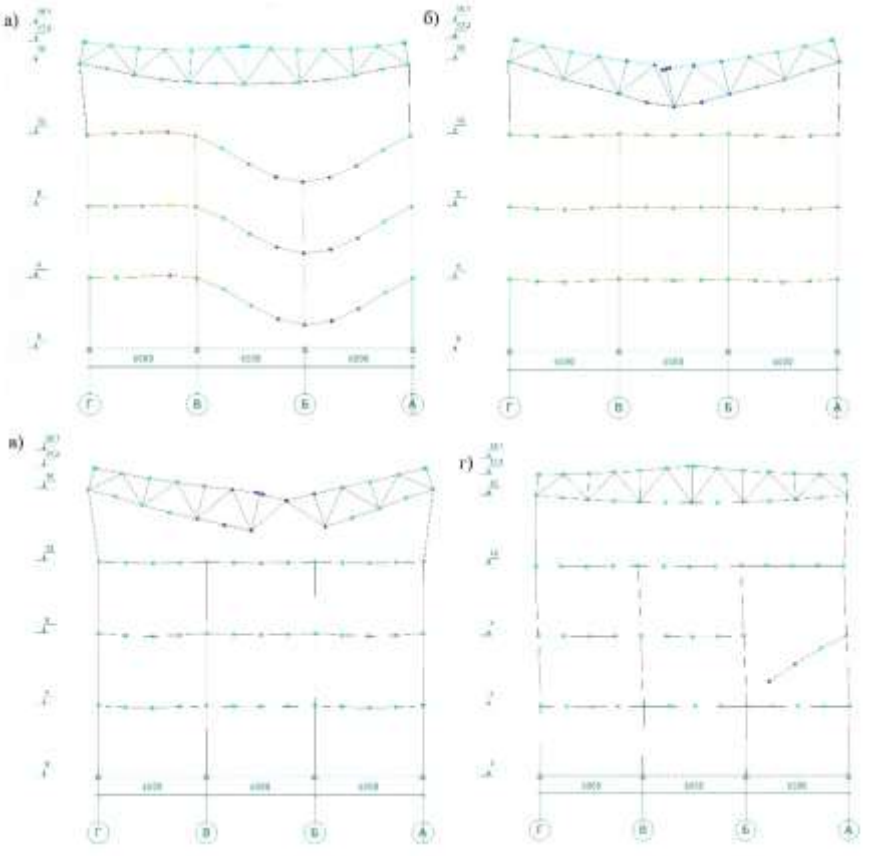


Рисунок 3 - Деформированная схема каркаса после исключения элемента из расчета: а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Анализ перераспределения усилий

Максимальные значения усилий для каждого сценария представлены в таблице 2.

Таблица 2

Максимальные усилия

Сценарий	N, тс	Mz, тс·м	My, тс·м	Qy, тс	Qz, тс
1. Удаление колонны К2	66,40	-10,37	-25,91	-5,13	-12,99
2. Удаление верхнего пояса	17,36	-0,92	-0,79	4,06	-3,23
3. Удаление нижнего пояса	9,06	6,90	3,74	5,49	-3,35
4. Удаление главной балки	47,06	15,67	-31,38	5,34	11,49

Анализ таблицы 2 показывает, что после удаления элемента усилия перераспределяются на смежные конструкции. Характер перераспределения зависит от типа удаляемого элемента:

– при удалении колонны (Сценарий 1) усилия перераспределяются на смежные колонны и ригели рам;

– при удалении элементов фермы (Сценарии 2 и 3) усилия перераспределяются через систему связей по покрытию и вертикальные связи на соседние фермы и колонны;

– при удалении главной балки (Сценарий 4) усилия концентрируются в одной смежной колонне, создавая значительную асимметрию.

Эпюры усилий N представлены на рисунке 3.

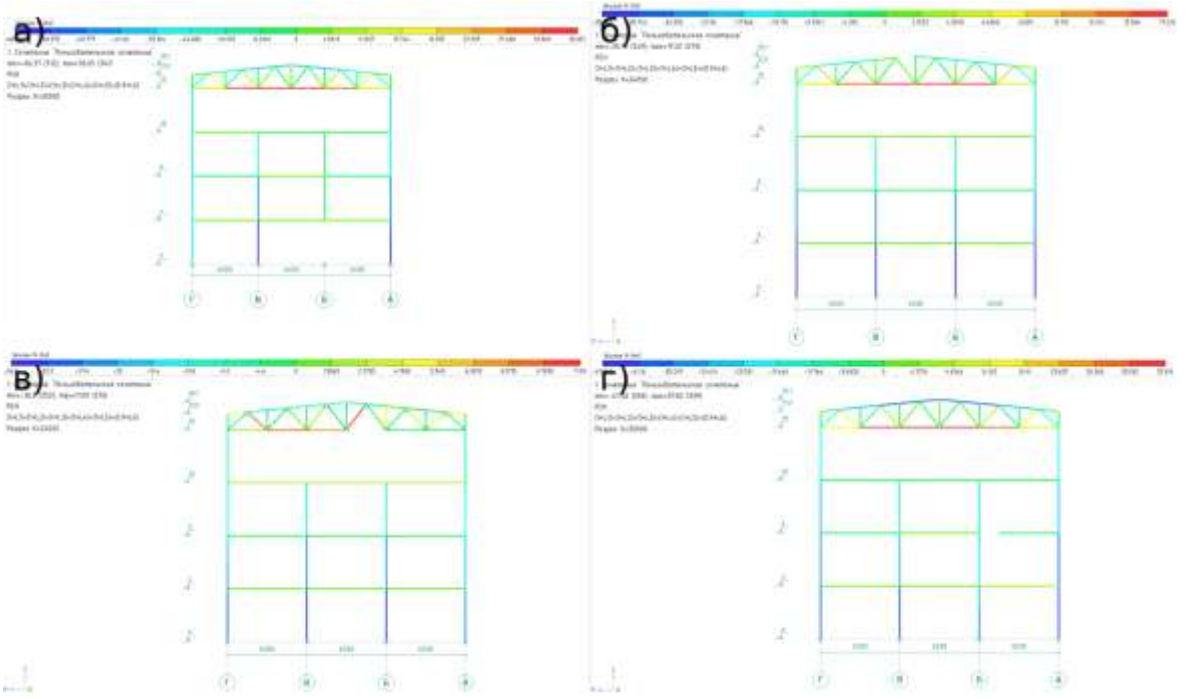


Рисунок 4 - Схемы перераспределения усилий после исключения элемента из расчета: а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Оценка несущей способности

Анализ процентов использования сечений по условиям прочности и устойчивости (в соответствии с СП 16.13330.2017) показал результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Максимальные % использования металлоконструкций

Сценарий	Метод расчета	Максимальный % использования металлоконструкций	Колличество конструктивеых элементов % использования >100
1. Удаление колонны К2	Статический	112	2
2. Удаление верхнего пояса	Статический	217	2
3. Удаление нижнего пояса	Статический	100	0
4. Удаление главной балки	Статический	160	3

Анализ таблицы 4 показывает, что все четыре сценария приводят к исчерпанию несущей способности хотя бы одного элемента каркаса. Степень критичности сценариев (по убыванию):

– сценарий 4 (удаление главной балки): множественные превышения несущей способности, превышение предельных перемещений;

– сценарий 2 (удаление верхнего пояса фермы): значительное превышение (217%) в крестовых связях;

– сценарий 1 (удаление колонны): превышение 112% в одной колонне;

– сценарий 3 (удаление нижнего пояса фермы): предельное состояние (100%) в одном элементе.

Процент использования металлоконструкций представлен на рисунке 4.

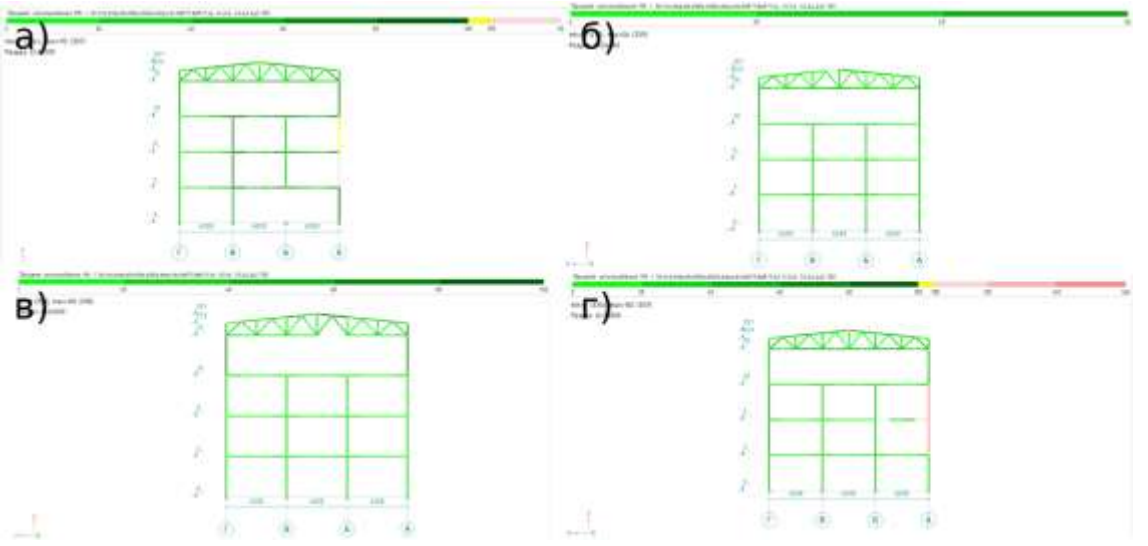


Рисунок 5 - Проценты использования металлоконструкций после исключения элемента из расчета: а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Выводы:

1. Статический метод расчета на прогрессирующее обрушение показывает, что все четыре сценария приводят к критическим или предельным состояниям элементов каркаса, что свидетельствует о недостаточной устойчивости конструкции к прогрессирующему обрушению при данном уровне нагружения.

2. Наиболее критичным является Сценарий 4 (удаление главной балки), при котором наблюдаются множественные превышения несущей способности (до 160%) и превышение предельных перемещений (174,44 мм при допустимых 120 мм).

3. Статический метод не учитывает динамические эффекты, возникающие при внезапном удалении элемента. В реальности динамическое догружение может привести к еще большим усилиям и перемещениям.

4. Для получения более точной оценки и выявления резервов несущей способности необходимо применение квазистатического и динамического методов расчета, которые позволят учесть инерционные силы и коэффициент увеличения динамической прочности стали.

Список использованных источников

1. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. – Москва: Минстрой России, 2018. – 48 с.

2. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. – Москва: Минстрой России, 2017. – 84 с.

3. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Москва: Минстрой России, 2017. – 156 с.

УДК 624.042
67.03.03 Теория расчета сооружений и конструкций

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ МНОГОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ РАМНО-СВЯЗЕВОЙ СХЕМЫ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Горденков Кирилл Александрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант

Расчет В современном промышленном и гражданском строительстве остро стоит проблема повышения требований надёжности и безопасности зданий и сооружений. Прогрессирующее (лавинообразное) обрушение – локальное разрушение одного элемента, которое может привести к полному обрушению всего здания или его значимой части, является одним из наиболее опасных видов аварийных ситуаций. Обеспечение конструктивной безопасности зданий при особых воздействиях стало обязательным требованием российских строительных норм.

В Российской Федерации в 2017 году был введен в действие СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия», а в 2018 году – СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования». Именно эти документы устанавливают необходимость расчета на прогрессирующее обрушение зданий с повышенным уровнем ответственности, к которым относятся большое количество промышленных зданий с массовым пребыванием людей или опасными технологическими процессами.

Крупные аварии на территории России и стран СНГ в начале XXI века (обрушения аквапарка «Трансвааль-парк» в 2004 г., Басманного рынка в 2006 г., ТРЦ «Зимняя вишня» в 2018 г., галереи дробильного цеха Норильской обогатительной фабрики в 2021 г.) наглядно продемонстрировали недостаточную устойчивость зданий к прогрессирующему обрушению и необходимость совершенствования методов расчета.

Существующие методы расчета на прогрессирующее обрушение

Согласно СП 385.1325800.2018, расчет на прогрессирующее обрушение может выполняться одним из трех методов:

Статический метод – удаление элемента и статический расчет оставшейся системы без учета динамических эффектов;

Квазистатический метод – удаление элемента с применением динамических коэффициентов к нагрузкам или перемещениям;

Динамический метод – полный линейный или нелинейный динамический расчет с учетом инерционных сил и зависимости усилий от времени.

Сущность квазистатического метода реализована с применением метода обратного приложения нагрузки (метода эквивалентных узловых сил). Данный подход является физически обоснованным и широко применяется в практике динамических расчетов строительных конструкций.

Суть метода заключается в следующем. При внезапном удалении несущего элемента нагрузка, которую он ранее воспринимал, не исчезает мгновенно, а перераспределяется на смежные конструкции. В линейной упругой постановке это перераспределение может быть смоделировано следующим образом:

В исходной (неповрежденной) расчетной схеме определяется вектор реакций (усилий) в удаляемом элементе в местах его сопряжения с остальной конструкцией;

Элемент исключается из расчетной схемы;

В узлы, где ранее был закреплен удаленный элемент, прикладываются узловые силы, равные по величине и противоположные по знаку реакциям в удаленном элементе (коэффициент -1);

Выполняется статический расчет модифицированной схемы под действием этих приложенных сил совместно с остальными нагрузками;

Определяются коэффициенты использования сечений.

Физический смысл данного подхода: приложение нагрузки с коэффициентом -1 в узлах удаленного элемента математически эквивалентно «снятию» усилия, которое ранее воспринимал этот элемент. В линейной упругой системе это корректно моделирует процесс внезапного перераспределения усилий. При этом динамический эффект учитывается приближенно.

Преимущества метода:

– учитывает динамический эффект в упрощенной форме;

– требует меньших вычислительных затрат, чем полный динамический анализ;

– позволяет получить более консервативную оценку, чем чисто статический метод.

Недостатки метода:

– динамический коэффициент принимается постоянным и не учитывает реальные динамические характеристики конкретной конструкции;

– не позволяет получить зависимость усилий и перемещений от времени;

– может давать как завышенную, так и заниженную оценку динамического эффекта в зависимости от частотных характеристик системы.

Описание объекта исследования

В качестве объекта исследования принят многоэтажный металлический каркас промышленного здания с рамно-связевой конструктивной схемой. Основные геометрические параметры каркаса:

– количество этажей – 4;

– габаритные размеры здания в плане – 18 × 42 м;

– шаг колонн в поперечном и продольном направлениях – 6 м;

– высота этажа – 4 м;

– общая высота здания от отметки земли до верха покрытия – 18,1 м;

– площадь застройки – 756 м².

Конструктивная схема здания включает в себя следующие основные элементы:

– систему несущих рам в поперечном направлении (металлические колонны и главные балки, соединенные жесткими узлами);

– ферменные покрытия из трапецеидальных металлических ферм пролетом 18 м;

– систему вертикальных и горизонтальных связей;

– элементы второстепенных конструкций (прогоны, главные балки).

Материалы конструкций: для обеспечения требуемой несущей способности при оптимальной металлоемкости применены стали двух марок в соответствии с ГОСТ 27772-2015:

– колонны каркаса: сталь марки С345;

– остальные элементы каркаса (ригели рам, элементы ферм, связи, прогоны): сталь марки С255.

Общий вид модели каркаса представлен на рисунке 1.

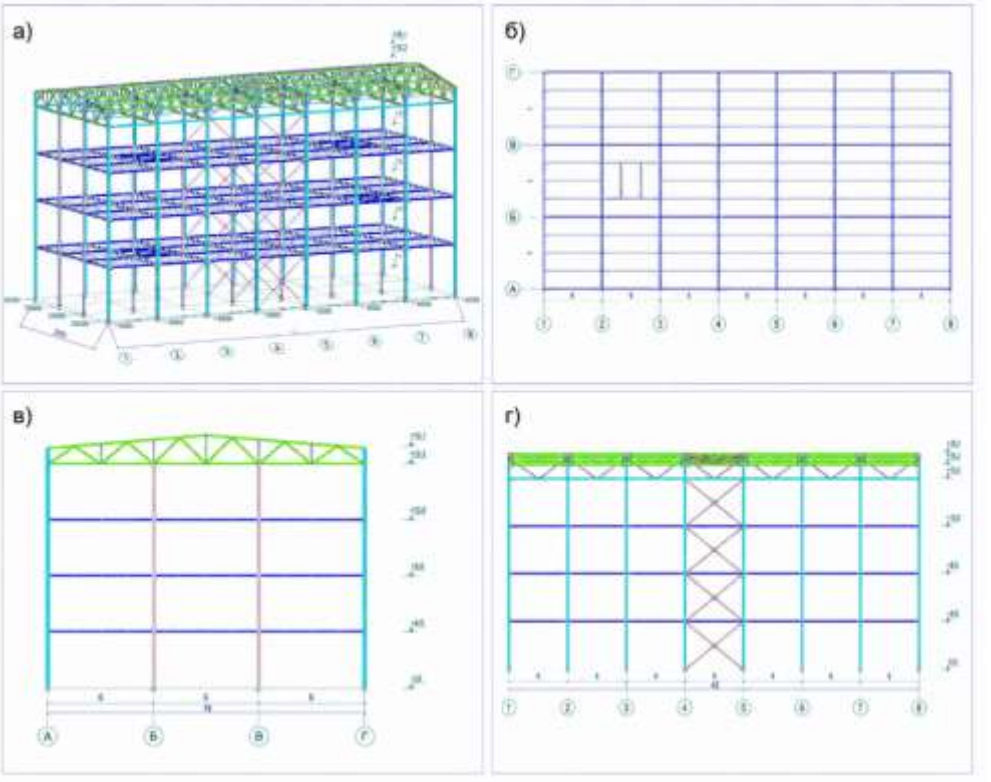


Рисунок 1 - Пространственная конечно-элементная модель каркаса: а – общий вид каркаса; б – план на отм. +4.000; в – фасад в осях А-Г; г – фасад в осях 1-8

Описание программного комплекса.

Расчет выполнен в программном комплексе «ЛИРА 10». Выбор данного программного комплекса обусловлен его широкой распространенностью в отечественной проектной практике, наличием сертифицированных модулей для расчета строительных конструкций и возможностью реализации различных методов расчета на прогрессирующее обрушение.

Расчетная модель представляет собой пространственную стержневую систему, воспроизводящую геометрию и конструктивные решения объекта исследования с высокой степенью детализации. Общее количество конечных элементов в модели составляет 1279 стержневых элементов и 1182 узлов.

Для моделирования всех стержневых элементов каркаса использован стержневой конечный элемент типа 10 по классификации программного комплекса. Данный тип элемента является универсальным стержневым элементом, предназначенным для моделирования элементов строительных конструкций, работающих на продольные усилия, изгиб в двух плоскостях, кручение и поперечный сдвиг.

Обоснование сценариев аварийного воздействия

На основе результатов статического расчета исходной схемы были выделены четыре сценария аварийного воздействия:

5. Первый сценарий предусматривал удаление фрагмента колонны первого этажа в центральной части здания. Данный вариант моделирует наиболее опасную ситуацию, связанную с потерей одного из основных вертикальных несущих элементов.

6. Второй сценарий включал удаление элемента верхнего пояса фермы покрытия. Рассматриваемый случай позволяет оценить устойчивость покрытия и характер перераспределения усилий между элементами ферменной системы.

7. Третий сценарий предусматривал удаление элемента нижнего пояса фермы. Анализ данного варианта позволяет оценить влияние локального повреждения растянутых элементов покрытия на работу пространственной системы здания.

8. Четвертый сценарий заключался в удалении фрагмента главной балки перекрытия. Данный вариант моделирует локальное разрушение элемента междуэтажного перекрытия и последующее перераспределение нагрузок на соседние конструкции.

Результаты расчета квазистатическим методом

Для каждого из четырех сценариев выполнен статический расчет модифицированной расчетной схемы под действием всех приложенных нагрузок. Определены перемещения, усилия и проценты использования сечений.

Анализ перемещений

Максимальные перемещения по трем осям для каждого сценария представлены в таблице 1.

Таблица 1

Максимальные перемещения

Сценарий	Перемещение по оси Z, мм	Перемещение по оси Y, мм	Перемещение по оси X, мм
1. Удаление колонны К2	124,81	21,48	1,80
2. Удаление верхнего пояса	80,85	19,23	18,04
3. Удаление нижнего пояса	93,88	25,18	7,39
4. Удаление главной балки	344,81	37,54	0,78

Согласно п. 5.4 СП 385.1325800.2018, предельные перемещения при расчете на прогрессирующее обрушение принимаются равными 1/50 от пролета. Для пролета ригеля 6 м предельный прогиб составляет 120 мм, для пролета фермы 18 м – 360 мм.

Анализ таблицы 1 показывает, что квазистатический метод дает существенно большие перемещения по сравнению со статическим методом.

По условию деформативности:

– сценарии 2 и 3 удовлетворяют требованиям (максимальные перемещения не превышают 360 мм для пролета 18 м);

– сценарии 1 и 4 не удовлетворяют требованиям (перемещения 124,81 мм и 344,81 мм превышают 120 мм для пролета ригеля 6 м).

Эпюры перемещений по оси Z для Сценария 1 представлены на рисунке 2.

Анализ перераспределения усилий.

Максимальные значения усилий для каждого сценария представлены в таблице 2.

Таблица 2

Максимальные усилия

Сценарий	N, тс	Mz, тс·м	My, тс·м	Qy, тс	Qz, тс
1. Удаление колонны К2	93,29	-18,96	-46,35	-9,31	-19,84
2. Удаление верхнего пояса	43,87	-1,72	-1,39	8,10	-3,50
3. Удаление нижнего пояса	37,99	10,40	7,40	9,03	-8,99
4. Удаление главной балки	54,48	-29,62	-59,02	9,73	17,20

Анализ таблицы 2 показывает, что после удаления элемента усилия перераспределяются на смежные конструкции. Характер перераспределения зависит от типа удаляемого элемента:

– при удалении колонны (Сценарий 1) усилия перераспределяются на смежные колонны и ригели рам;

– при удалении элементов фермы (Сценарии 2 и 3) усилия перераспределяются через систему связей по покрытию и вертикальные связи на соседние фермы и колонны;

– при удалении главной балки (Сценарий 4) усилия концентрируются в одной смежной колонне, создавая значительную асимметрию.

Квазистатический метод дает существенно большие усилия по сравнению со статическим методом. Это свидетельствует о значительном влиянии динамического эффекта внезапного удаления элемента.

Эпюры усилий N в представлены на рисунке 3.

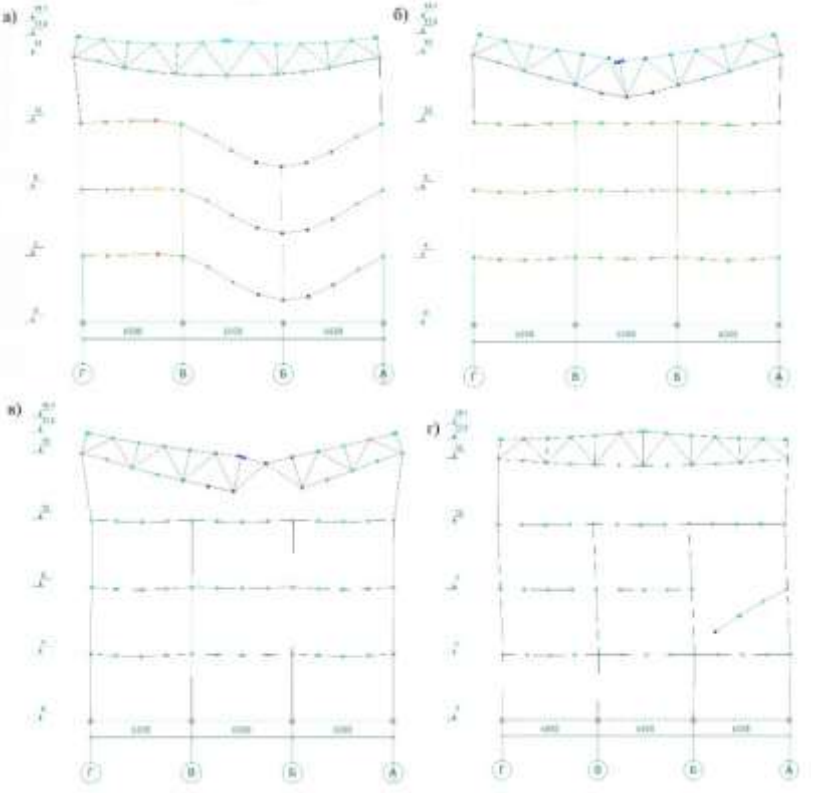


Рисунок 2 - Деформированная схема каркаса после исключения элемента из расчета: а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4.

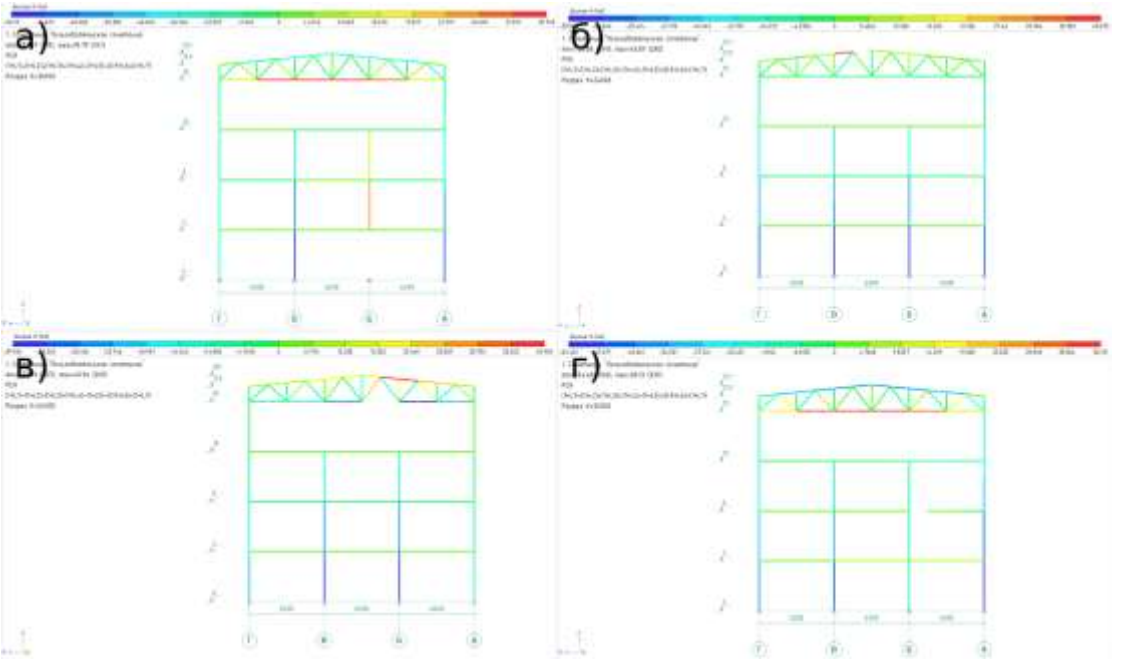


Рисунок 3 - Схемы перераспределения усилий после исключения элемента из расчета а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Оценка несущей способности.

Анализ процентов использования сечений по условиям прочности и устойчивости (в соответствии с СП 16.13330.2017) показал результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Максимальные % использования металлоконструкций

Сценарий	Метод расчета	Максимальный % использования металлоконструкций	Колличество конструктивеых элементов % использования >100
1. Удаление колонны К2	Квазистатический	163	17
2. Удаление верхнего пояса	Квазистатический	401	4
3. Удаление нижнего пояса	Квазистатический	181	5
4. Удаление главной балки	Квазистатический	241	4

Анализ таблицы 3 показывает, что все четыре сценария приводят к исчерпанию несущей способности хотя бы одного элемента каркаса. Степень критичности сценариев:

– сценарий 1: превышение 163 % по прочности в колонне на оси А/6, 148 % в главных балках;

– сценарий 2: превышение 401 % по общей устойчивости в крестовых связях;

– сценарий 3: превышение 181 % по прочности в верхнем поясе соседней панели, 141 % по общей устойчивости в нижнем поясе;

– сценарий 4: множественные превышения – 241 % по прочности и 181 % по общей устойчивости в колонне К1, 188 % по прочности и 131 % по общей устойчивости в оставшейся части балки.

Процент использования металлоконструкций представлен на рисунке 4.

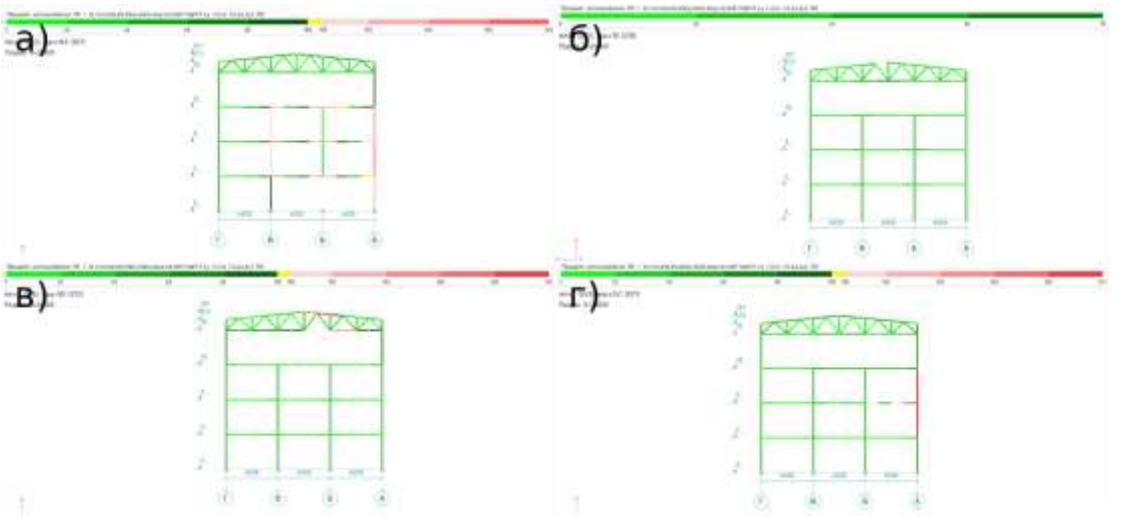


Рисунок 4 - Проценты использования металлоконструкций после исключения элемента из расчета: а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Выводы

1. Квазистатический метод расчета на прогрессирующее обрушение с применением метода обратного приложения нагрузки позволяет учесть динамический эффект внезапного удаления элемента в упрощенной форме.

2. Квазистатический метод дает существенно большие перемещения и усилия по сравнению со статическим методом. Коэффициент роста перемещений составляет от 1,46 до 1,98, коэффициент роста процента использования – от 1,46 до 1,85.

3. Все четыре сценария приводят к превышению несущей способности элементов каркаса. Наиболее критичным является Сценарий 2 (удаление верхнего пояса фермы), при котором процент использования крестовых связей достигает 401% по общей устойчивости.

4. Квазистатический метод дает консервативную оценку, завышая перемещения и усилия по сравнению с динамическим методом. Это обеспечивает запас надежности, однако может приводить к избыточному проектированию.

5. Для получения более точной оценки и выявления резервов несущей способности необходимо применение динамического метода расчета с модальным анализом.

Список использованных источников

1. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. – Москва: Минстрой России, 2018. – 48 с.

2. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. – Москва: Минстрой России, 2017. – 84 с.

3. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Москва: Минстрой России, 2017. – 156 с.

УДК 624.042
67.03.03 Теория расчета сооружений и конструкций

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛИ МНОГОЭТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ РАМНО-СВЯЗЕВОЙ СХЕМЫ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ ДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Горденков Кирилл Александрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант

Расчет В современном промышленном и гражданском строительстве остро стоит проблема повышения требований надёжности и безопасности зданий и сооружений. Прогрессирующее (лавинообразное) обрушение – локальное разрушение одного элемента, которое может привести к полному обрушению всего здания или его значимой части, является одним из наиболее опасных видов аварийных ситуаций. Обеспечение конструктивной безопасности зданий при особых воздействиях стало обязательным требованием российских строительных норм.

В Российской Федерации в 2017 году был введен в действие СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия», а в 2018 году – СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования». Именно эти документы устанавливают необходимость расчета на прогрессирующее обрушение зданий с повышенным уровнем ответственности, к которым относятся большое количество промышленных зданий с массовым пребыванием людей или опасными технологическими процессами.

Крупные аварии на территории России и стран СНГ в начале XXI века (обрушения аквапарка «Трансвааль-парк» в 2004 г., Басманного рынка в 2006 г., ТРЦ «Зимняя вишня» в 2018 г., галереи дробильного цеха Норильской обогатительной фабрики в 2021 г.) наглядно продемонстрировали недостаточную устойчивость зданий к прогрессирующему обрушению и необходимость совершенствования методов расчета.

Существующие методы расчета на прогрессирующее обрушение

Согласно СП 385.1325800.2018, расчет на прогрессирующее обрушение может выполняться одним из трех методов:

Статический метод – удаление элемента и статический расчет оставшейся системы без учета динамических эффектов;

Квазистатический метод – удаление элемента с применением динамических коэффициентов к нагрузкам или перемещениям;

Динамический метод – полный линейный или нелинейный динамический расчет с учетом инерционных сил и зависимости усилий от времени.

Сущность динамического метода является наиболее точным и физически обоснованным подходом. Его реализация выполнена с использованием связки утилит «МОНТАЖ» и «ДИНАМИКА+» программного комплекса ЛИРА 10. Расчет проводится в два этапа:

Этап 1 – Модальный анализ (определение форм собственных колебаний). Для каждого из сценариев (после удаления соответствующего элемента) выполнен модальный анализ, в ходе которого определены:

собственные частоты колебаний модифицированной расчетной схемы;

формы собственных колебаний;

коэффициенты участия мод.

В расчетах учтено 50 форм собственных колебаний. Такое количество форм обеспечивает учет практически 100% участвующей массы системы, что гарантирует высокую точность определения динамического отклика.

Этап 2 – Нестационарный динамический расчет с использованием утилит «МОНТАЖ» и «ДИНАМИКА+»:

Моделирование удаления элемента через утилиту «МОНТАЖ» – утилита формирует модифицированную расчетную схему после удаления элемента в заданный момент времени;

Нестационарный динамический расчет через утилиту «ДИНАМИКА+» – выполняется расчет динамического отклика конструкции в переходном процессе с учетом инерционных сил, демпфирования и методом модальной суперпозиции с использованием 50 форм собственных колебаний.

Преимущества метода:

наиболее точно отражает физическую сущность процесса прогрессирующего обрушения;

учитывает реальные динамические характеристики конструкции (собственные частоты, формы колебаний, демпфирование);

позволяет получить полную картину динамического отклика во времени;

обеспечивает возможность учета коэффициента увеличения динамической прочности стали (k_d).

Важной особенностью динамического расчета является возможность корректного учета влияния скорости деформирования на свойства материала. При внезапном динамическом нагружении предел текучести и временное сопротивление конструкционной стали существенно возрастают. Это позволяет проверять условия прочности элементов не по обычному статическому расчетному сопротивлению R_y, а по повышенному динамическому сопротивлению $R_{y,dyn} = k_d \cdot R_y$.

Недостатки метода:

требует значительных вычислительных затрат;

сложен в реализации и интерпретации результатов;

требует тщательного задания динамических характеристик (масс, жесткостей, демпфирования);

необходим модальный анализ с учетом большого числа форм собственных колебаний (50 и более).

Описание объекта исследования.

В качестве объекта исследования принят многоэтажный металлический каркас промышленного здания с рамно-связевой конструктивной схемой. Основные геометрические параметры каркаса:

– количество этажей – 4;

– габаритные размеры здания в плане – 18 × 42 м;

– шаг колонн в поперечном и продольном направлениях – 6 м;

– высота этажа – 4 м;

– общая высота здания от отметки земли до верха покрытия – 18,1 м;

– площадь застройки – 756 м².

Конструктивная схема здания включает в себя следующие основные элементы:

– систему несущих рам в поперечном направлении (металлические колонны и главные балки, соединенные жесткими узлами);

– ферменные покрытия из трапецеидальных металлических ферм пролетом 18 м;

– систему вертикальных и горизонтальных связей;

– элементы второстепенных конструкций (прогоны, главные балки).

Материалы конструкций: для обеспечения требуемой несущей способности при оптимальной металлоемкости применены стали двух марок в соответствии с ГОСТ 27772-2015:

– колонны каркаса: сталь марки С345;

– остальные элементы каркаса (ригели рам, элементы ферм, связи, прогоны): сталь марки С255.

Общий вид модели каркаса представлен на рисунке 1.

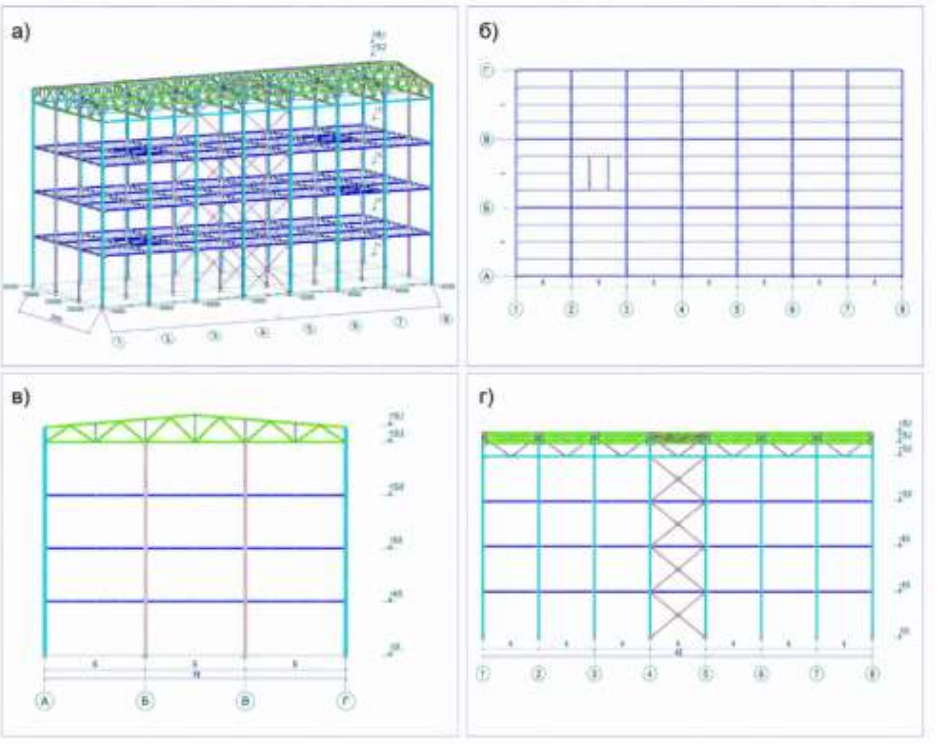


Рисунок 1 - Пространственная конечно-элементная модель каркаса: а – общий вид каркаса; б – план на отм. +4.000; в – фасад в осях А-Г; г – фасад в осях 1-8

Описание программного комплекса.

Расчет выполнен в программном комплексе «ЛИРА 10». Выбор данного программного комплекса обусловлен его широкой распространенностью в отечественной проектной практике, наличием сертифицированных модулей для расчета строительных конструкций и возможностью реализации различных методов расчета на прогрессирующее обрушение.

Расчетная модель представляет собой пространственную стержневую систему, воспроизводящую геометрию и конструктивные решения объекта исследования с высокой степенью детализации. Общее количество конечных элементов в модели составляет 1279 стержневых элементов и 1182 узлов.

Для моделирования всех стержневых элементов каркаса использован стержневой конечный элемент типа 10 по классификации программного комплекса. Данный тип элемента является универсальным стержневым элементом, предназначенным для моделирования элементов строительных конструкций, работающих на продольные усилия, изгиб в двух плоскостях, кручение и поперечный сдвиг.

Обоснование сценариев аварийного воздействия.

На основе результатов статического расчета исходной схемы были выделены четыре сценария аварийного воздействия:

9. Первый сценарий предусматривал удаление фрагмента колонны первого этажа в центральной части здания. Данный вариант моделирует наиболее опасную ситуацию, связанную с потерей одного из основных вертикальных несущих элементов.

10. Второй сценарий включал удаление элемента верхнего пояса фермы покрытия. Рассматриваемый случай позволяет оценить устойчивость покрытия и характер перераспределения усилий между элементами ферменной системы.

11. Третий сценарий предусматривал удаление элемента нижнего пояса фермы. Анализ данного варианта позволяет оценить влияние локального повреждения растянутых элементов покрытия на работу пространственной системы здания.

12. Четвертый сценарий заключался в удалении фрагмента главной балки перекрытия. Данный вариант моделирует локальное разрушение элемента междуэтажного перекрытия и последующее перераспределение нагрузок на соседние конструкции.

Результаты расчета динамическим методом

Для каждого из четырех сценариев выполнен динамический расчет с использованием утилит «МОНТАЖ» и «ДИНАМИКА+». Определены перемещения, усилия и проценты использования сечений.

Результаты модального анализа.

Результаты модального анализа для каждого сценария представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты модального анализа

Сценарий	Метод расчета	Форма	Собственное значение	Частота (Рад/с)	Период (с)	Коэффициент распределения	Модальная масса (%)	Суммарная модальная масса (%)
1. Удаление колонны К2	Динамический	1	0.083842	3.4536	1.8193	1.5153	27.0918	27.0918
		24	0.00434569	15.169	0.4142	1.54836	2.35049	62.7031
2. Удаление верхнего пояса	Динамический	1	0.0821102	3.4898	1.8004	1.53947	27.1301	27.1301
		31	0.00316667	17.77	0.35357	1.64661	3.19294	65.3502
3. Удаление нижнего пояса	Динамический	1	0.0821039	3.4899	1.8004	1.54082	27.1534	27.1534
		27	0.0033928	17.168	0.36598	2.29038	4.86254	65.9175
4. Удаление главной балки	Динамический	1	0.0834682	3.4613	1.8153	1.51393	26.7254	26.7254
		45	0.00178576	23.664	0.26552	-0.40796	0	70.6414

Анализ перемещений.

Максимальные перемещения по трем осям для каждого сценария представлены в таблице 2.

Таблица 2

Максимальные перемещения

Сценарий	Перемещение по оси Z, мм	Перемещение по оси Y, мм	Перемещение по оси X, мм
1. Удаление колонны К2	113,43	10,67	2,18
2. Удаление верхнего пояса	85,73	15,70	8,70
3. Удаление нижнего пояса	100,70	23,10	5,50
4. Удаление главной балки	312,94	24,68	2,24

Согласно п. 5.4 СП 385.1325800.2018, предельные перемещения при расчете на прогрессирующее обрушение принимаются равными 1/50 от пролета. Для пролета ригеля 6 м предельный прогиб составляет 120 мм, для пролета фермы 18 м – 360 мм.

Анализ таблицы 3 показывает, что динамический метод дает промежуточные значения перемещений – больше, чем статический метод, но меньше, чем квазистатический. Характерной особенностью динамического метода является то, что максимальные перемещения оказались меньше, чем при квазистатическом методе. Это объясняется тем, что при динамическом расчете учитываются инерционные силы и колебательный характер процесса, что снижает пиковые значения перемещений по сравнению с квазистатическим приближением.

По условию деформативности:

– сценарии 1, 2, 3 удовлетворяют требованиям (максимальные перемещения не превышают 120 мм для пролета 6 м);

– сценарий 4 не удовлетворяет требованиям (перемещение 312,94 мм превышает 120 мм для пролета ригеля 6 м).

Эпюры перемещений по оси Z для Сценария 1 представлены на рисунке 2.

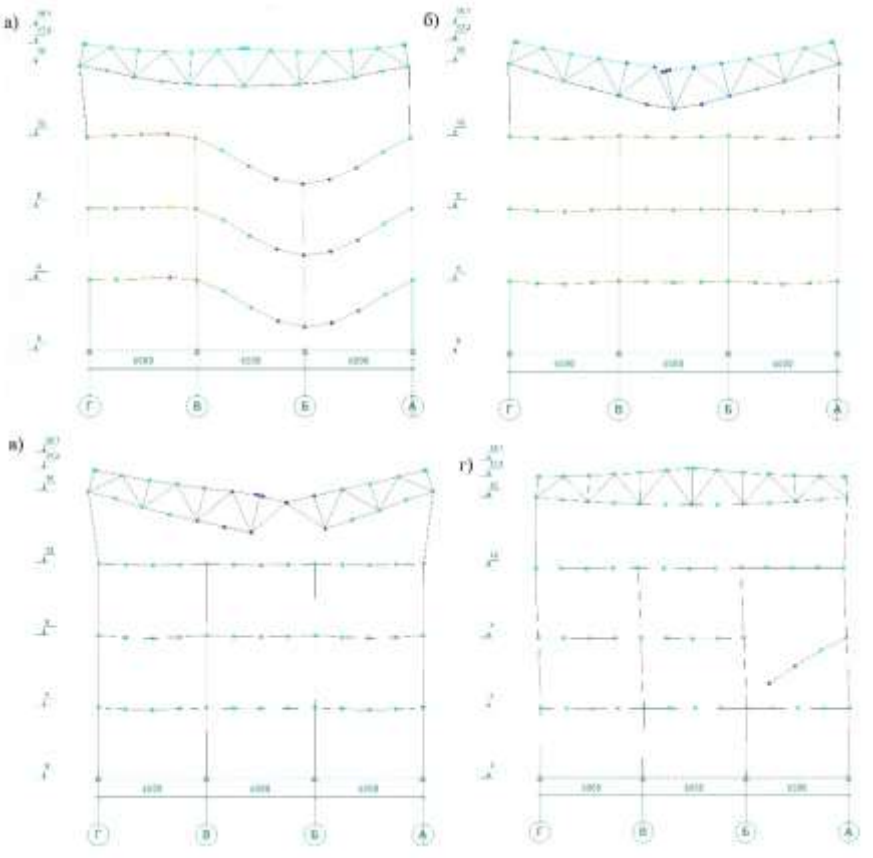


Рисунок 2 - Деформированная схема каркаса после исключения элемента из расчета
а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Анализ перераспределения усилий.

Максимальные значения усилий для каждого сценария представлены в таблице 3.

Таблица 3

Максимальные усилия

Сценарий	N, тс	Mz, тс·м	My, тс·м	Qy, тс	Qz, тс
1. Удаление колонны К2	95,14	-18,61	-43,42	-5,13	-12,99
2. Удаление верхнего пояса	26,46	-1,31	-1,33	6,63	-3,90
3. Удаление нижнего пояса	12,1	11,10	6,10	8,94	-11,10
4. Удаление главной балки	60,96	-27,80	-54,80	9,20	18,20

Анализ таблицы 2 показывает, что после удаления элемента усилия перераспределяются на смежные конструкции. Характер перераспределения зависит от типа удаляемого элемента:

– при удалении колонны (Сценарий 1) усилия перераспределяются на смежные колонны и ригели рам;

– при удалении элементов фермы (Сценарии 2 и 3) усилия перераспределяются через систему связей по покрытию и вертикальные связи на соседние фермы и колонны;

– при удалении главной балки (Сценарий 4) усилия концентрируются в одной смежной колонне, создавая значительную асимметрию.

Эпюры усилий N в представлены на рисунке 3.

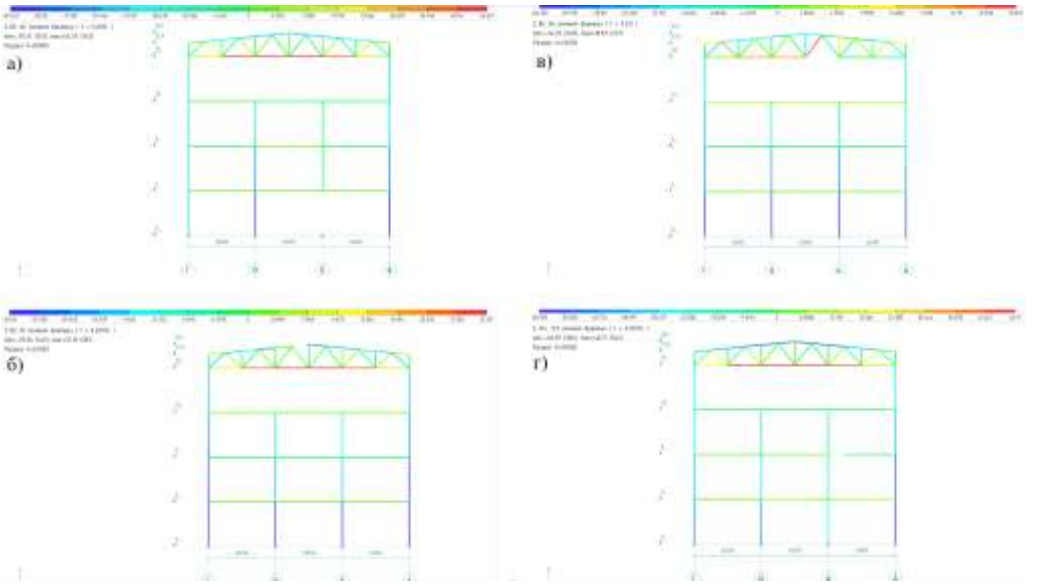


Рисунок 3 - Схемы перераспределения усилий после исключения элемента из расчета
а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Оценка несущей способности.

Анализ процентов использования сечений по условиям прочности и устойчивости (в соответствии с СП 16.13330.2017) показал результаты, представленные в таблице 3.

Таблица 4

Максимальные % использования металлоконструкций

Сценарий	Метод расчета	Максимальный % использования металлоконструкций	Колличество конструктивеых элементов % использования >100
1. Удаление колонны К2	Квазистатический	162	13
2. Удаление верхнего пояса	Квазистатический	330	4
3. Удаление нижнего пояса	Квазистатический	134	7
4. Удаление главной балки	Квазистатический	232	3

Анализ таблицы 4 показывает, что все четыре сценария приводят к исчерпанию несущей способности хотя бы одного элемента каркаса. Степень критичности сценариев:

– сценарий 4 (удаление главной балки): множественные превышения несущей способности, значительное превышение предельных перемещений;

– сценарий 2 (удаление верхнего пояса фермы): значительное превышение (330 %) в крестовых связях;

– сценарий 1 (удаление колонны): множественные превышения в колоннах и главных балках;

– сценарий 3 (удаление нижнего пояса фермы): множественные превышения в соседних панелях и фермах.

Процент использования металлоконструкций представлен на рисунке 4.

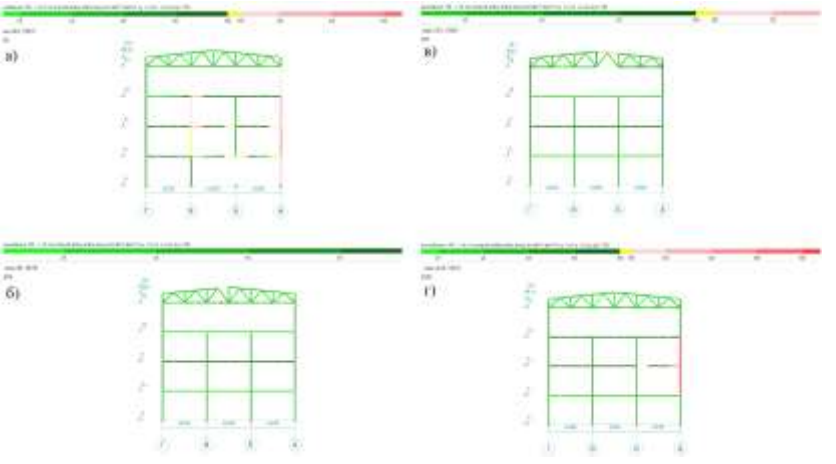


Рисунок 4 - Проценты использования металлоконструкций после исключения элемента из расчета
а – сценарий 1; б – сценарий 2; в – сценарий 3; г – сценарий 4

Выводы:

1. Динамический метод расчета на прогрессирующее обрушение с использованием утилит «МОНТАЖ» и «ДИНАМИКА+» является наиболее точным и физически обоснованным подходом, позволяющим получить реалистичную оценку поведения конструкции при прогрессирующем обрушении с учетом инерционных сил и колебательного характера процесса.

2. Модальный анализ с учетом 50 форм собственных колебаний обеспечивает учет практически всей участвующей массы системы, что гарантирует высокую точность определения динамического отклика.

3. Динамический метод дает промежуточные значения перемещений и усилий – больше, чем статический метод, но меньше, чем квазистатический. Это объясняется тем, что при динамическом расчете учитываются инерционные силы и колебательный характер процесса, что снижает пиковые значения перемещений по сравнению с квазистатическим приближением.

4. Все четыре сценария приводят к превышению несущей способности элементов каркаса. Наиболее критичным является Сценарий 4 (удаление главной балки), при котором наблюдаются множественные превышения несущей способности (до 232%) и превышение предельных перемещений (312,94 мм при допустимых 120 мм).

5. Учет коэффициента увеличения динамической прочности стали (kd) при динамическом расчете позволяет более адекватно оценить несущую способность конструкций и выявить резервы, которые не могут быть учтены при использовании упрощенных методов.

Список использованных источников

1. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. – Москва: Минстрой России, 2018. – 48 с.
2. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. – Москва: Минстрой России, 2017. – 84 с.
3. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
4. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. – Москва: Минстрой России, 2017. – 156 с.

УДК 699.844
29.37.35: Физические основы архитектурной и строительной акустики

ГРАНИЦЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТАНОВОК ННГАСУ)

Гребнев Павел Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры архитектуры, начальник научного центра «Новое строительство»
e-mail: p.grebnev@mail.ru

Строительная отрасль России развивается и объемы ввода жилья держатся на высоких уровнях. Однако на первый план должно выходить не одно лишь количество вводимых квадратных метров, но и качество возводимых зданий. Прежде всего это касается жилых домов, однако защите от шума внутри жилых помещений на всех этапах жизненного цикла объектов — от проектирования и строительства до эксплуатации — уделяется недостаточно внимания. Следствием становятся судебные иски жителей, недовольных принятыми в проектах или реализованными на практике решениями. Проблема ведет к снижению качества жизни. В связи с этим создание современных методик, позволяющих достоверно изучать звукоизолирующие характеристики ограждающих конструкций зданий является актуальной задачей.

При формировании внутреннего пространства жилых, общественных или промышленных зданий требуется решение проблем защиты от шума. Часто ошибки в проектировании совершаются при выборе конструктивного решения ограждений, которые должны обеспечить нормативные параметры звукоизоляции. Еще большую остроту эти вопросы приобретают при проектировании зданий с источниками шума большой мощности, либо с высокими требованиями к акустическому комфорту. Соблюдение нормативов, установленных СП 51.13330.2011 [1] обеспечивается за счет применения инженерами данных о звукоизоляции ограждений, полученных по методикам СП 275.1325800.2016 [2] или в ходе лабораторных испытаний. Для сложных ограждений, предназначенных для решения задач защиты от источников шума большой мощности, определение расчетным способом параметров звукоизоляции зачастую невозможно в силу наличия особенностей конструктивного решения, выходящих за рамки методики расчета. Поэтому определение достоверных значений звукоизоляции строительных ограждающих конструкций экспериментально в лабораторных условиях является актуальной задачей.

Нормативная база в области защиты от шума и исследований акустических характеристик строительных материалов, изделий и конструкций постоянно совершенствуется. Экспериментальные исследования изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями в настоящее время регламентируются двумя документами: ГОСТ 27296-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций» [3] и введенным с 1 апреля 2025 года ГОСТ Р 71833-2025 (ИСО 15186-1:2000) «Здания и сооружения. Лабораторные измерения звукоизоляции строительных элементов с использованием интенсивности звука» [4]. Таким образом можно использовать два метода экспериментальных лабораторных исследований звукоизоляции: по уровням звукового давления (далее – стандартный метод) [3] и при помощи интенсивности звука (далее – интенсиметрический метод) [4].

Целью исследования является сравнительный анализ этих двух методов на примере двух испытательных лабораторных комплексов ННГАСУ.

В ННГАСУ развивается школа строительной акустики, созданная профессором М.С. Седовым. В 1972 году был создан комплекс реверберационных камер лаборатории акустики кафедры архитектуры ННГАСУ (установка АК), предназначенный для экспериментальных исследований звукоизоляции. Установка была построена как часть IV учебного корпуса.

Установка АК активно использовалась для измерения звукоизоляции ограждающих конструкций, которые применялись в строительстве в период 1970-х – 1990-х годов. С приходом в Россию каркасных решений звукоизолирующих перегородок, каркасных и бескаркасных облицовок измерения на данном комплексе стали сталкиваться с проблемами, связанными с недостаточной собственной звукоизоляцией. Собственная звукоизоляция установки АК была определена экспериментально и для легких ограждений составляла по индексу изоляции воздушного шума (R_w) величину 72 дБ. С целью снижения влияния на результаты измерений звукоизоляции косвенной передачи звука был разработан проект реновации установки АК, реализованный в период с 2022 по 2024 гг. В настоящий момент данный измерительный комплекс реверберационных камер называется «Новые акустические камеры ННГАСУ», но рассмотрим его звукоизоляционные характеристики до реновации (до 2022 г.). Влияние косвенной звукопередачи на данном комплексе было снижено в рамках реновации, но принципиальная схема встроенного в здание блока

реверберационных камер оставляет ограничения на измерения высоких значений звукоизоляции ограждений.

В качестве реверберационных акустических камер с минимальными значениями косвенной звукопередачи в работе рассматриваются «Большие акустические камеры ННГАСУ» (далее – БАК) [5]. Данный комплекс для экспериментальных исследований изоляции воздушного шума представляет собой две смежные по горизонтали реверберационные камеры. Камеры выполнены многоугольными, с минимальным количеством параллельных плоскостей, ограждения стенда выполнены из материалов с высокой плотностью. Каждая камера установлена на собственном монолитном фундаменте. Фундаменты камеры высокого уровня (КВУ объемом 259 м^3) и камеры низкого уровня (КНУ объемом 211 м^3) отделены друг от друга и от расположенных поблизости фундаментов, покрытия и грунта акустическими швами. Смежные стены реверберационных камер измерительного стенда выполнены сверхмассивными и расположены через акустический разобщающий шов по всей плоскости. Конструкции испытательного стенда полностью независимы от здания учебного корпуса I, в котором он расположен. Данный факт, вместе с описанным конструктивным решением, позволяет говорить о снижении косвенной передачи между КВУ и КНУ стенда БАК к минимуму. В рамках аттестации, проведенной для комплекса БАК специалистами ФГУП «ВНИИФТРИ», по параметру изоляции воздушного шума получен индекс собственной звукоизоляции ($R_{w\ max}$) 87 дБ. Данное значение получено на образце с использованием массивных материалов (кладка), далее в работе рассматривается собственная звукоизоляция стенда БАК при образце легкого многослойного ограждения.

Основным преимуществом интенсиметрического метода измерения звукоизоляции является возможность проводить измерение изоляции воздушного шума при наличии косвенной передачи звука в приемное помещение [4]. Для определения границ применимости интенсиметрического метода измерения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий в лабораторных условиях предложена методика, приведенная в работе [6]. Границы применимости интенсиметрического метода по параметру уровня звука, проникающего в приемное помещение косвенными путями, исследованы в работе [7]. Классификация звукоизоляции легких ограждающих конструкций зданий по типам, применяемая при дальнейшем анализе, принята согласно типологии [8]. Исследованиями применения интенсиметрического метода для измерений звукоизоляции ограждающих конструкций в России занимаются ученые НИИСФ РААСН. Применение интенсиметрии в лабораторных исследованиях изложено в работе [9], сравнение результатов измерения изоляции воздушного шума двумя рассматриваемыми методами в области низких частот приведено в работе [10].

Применяя методику, изложенную в работе [6], к рассматриваемым экспериментальным установкам ННГАСУ и ограничившись в качестве объекта исследования многослойными легкими конструкциями зданий, получим следующие результаты, представленные по этапам методики.

Этап №1. По параметру поверхностной плотности ограничимся легкими ограждениями (поверхностной плотностью 140 кг/м^2 и менее).

Этап №2. Способ установки конструкции на испытательном стенде – на стене камеры высокого уровня. Так как данный способ применяется при монтаже строительных ограждающих конструкций при лабораторном измерении.

Этап №3. Собственная звукоизоляции для рассматриваемых испытательных стендов (R_{max}, дБ) определены экспериментально для многослойных легких ограждающих конструкций зданий в лабораторных условиях по методике ГОСТ [3].

Этап №4. Значение поправки (Δ_{max}, дБ), обеспечивающей отсутствие косвенной звукопередачи, принято равным 15 дБ в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р ИСО 10140-2.

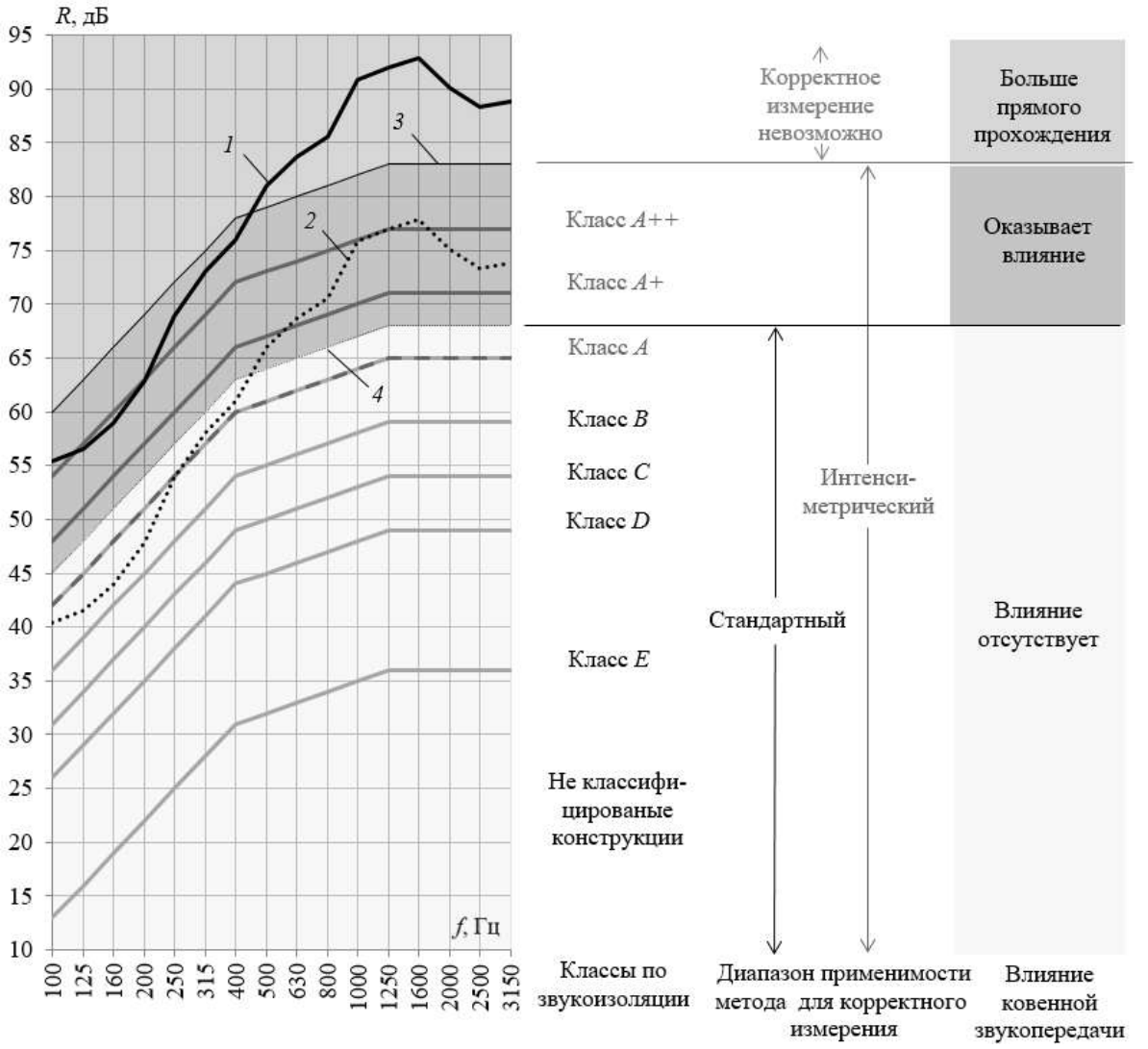
Этап №5. Граничные значения звукоизоляции ($R_{\text{гр. косв}}$, дБ), которые могут быть определены на рассматриваемых в работе испытательных стендах без влияния на результат косвенной звукопередачи, вычислены как разность между собственной звукоизоляцией стенда, определенной экспериментально (этап №3) и значением поправки, обеспечивающей отсутствие косвенной звукопередачи (этап №4).

Этап №6. Положение оценочного спектра изоляции воздушного шума, смещенного вверх на целое число децибел для частотной характеристики граничных значений звукоизоляции $R_{\text{гр. косв}}$ определено для каждого рассматриваемого измерительного стенда по аналогии с методикой определения индекса изоляции воздушного шума СП [1].

Этап №7. Сравнение расчетно-графическим способом полученной частотной характеристики граничной звукоизоляции с кривыми, ограничивающими классы звукоизоляции, приведено на рис. 1, 2. Классы звукоизоляции легких ограждающих конструкций зданий приняты согласно типологии, приведенной в работе [8].

Этап №8. Определены диапазоны значений звукоизоляции и классы по звукоизоляции, для которых на рассматриваемых измерительных стендах обосновано применение двух методов измерения звукоизоляции (стандартного метода и интенсиметрического метода). Результаты представлены на рис. 1, 2 для

комплексов АК и БАК, соответственно. Классы звукоизоляции ограждений зданий, для которых можно рекомендовать применение метода интенсиметрии, выделены серым цветом. Классы звукоизоляции ограждений зданий, для которых звукоизоляция не может быть определена на рассматриваемом измерительном стенде, выделены светло серым цветом.



1 – экспериментально полученная частотная характеристика R_{max} для легких конструкций на комплексе БАК; 2 – расчетная частотная характеристика $R_{гр.\ косв}$ для легких конструкций на комплексе БАК; 3, 4 – смещенный оценочный спектр изоляции воздушного шума для R_{max} и $R_{гр.\ косв}$ соответственно

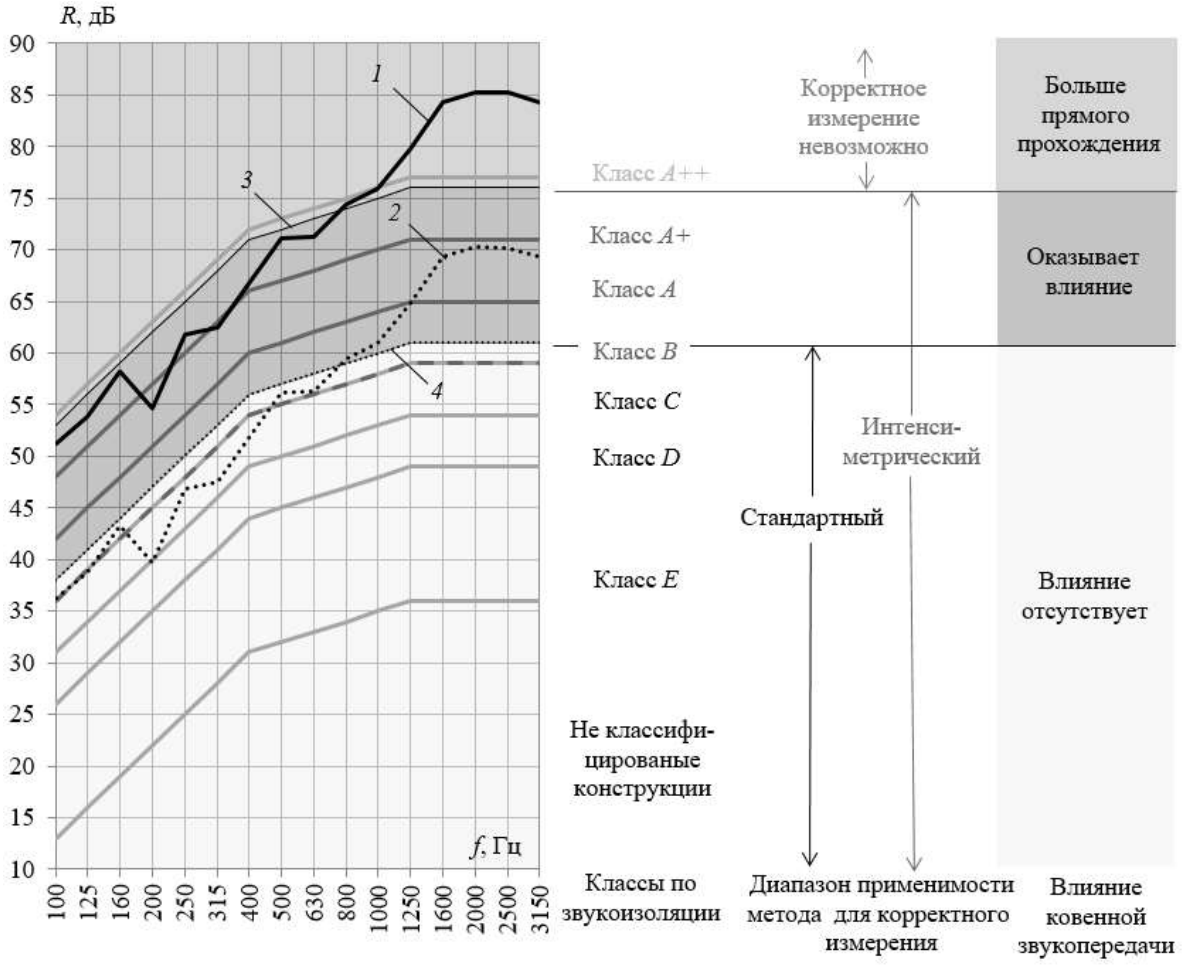
Рисунок 1 – Определение границ применения методов измерений звукоизоляции легких ограждающих конструкций в БАК по методике [6]

Сравнивая данные, приведенные на рис. 1 и 2, можно видеть разницу в диапазонах необходимости применения метода акустической интенсиметрии в зависимости от собственной звукоизоляции испытательного стенда.

Для комплекса БАК (см. рис. 1) классы звукоизоляции ограждающих конструкций зданий, для которых возможно проведение экспериментальных исследований методом измерения уровней звукового давления по ГОСТ 27296 [3] (стандартный метод) охватывают диапазон звукоизоляции (по индексу изоляции воздушного шума R_w) до 64 дБ. Данное значение является средней границей класса *A* «Ограждающие конструкции с очень высокой звукоизоляцией» [8] и включает все более низкие классы, на долю которых приходится большинство ограждающих конструкций зданий, использующихся в строительстве.

Использование интенсиметрии в комплексе БАК является обоснованным для исследования звукоизолирующих характеристик специализированных легких многослойных конструкций, применяющихся при проектировании общественных пространств и зданий с расположенными внутри них источниками звука

большой мощности (например, перегородки между залами в многозальных кинотеатрах). Данные конструкции в работе [8] выделены в классы *A*+ «Ограждающие конструкции с очень высокой звукоизоляцией» (R_w более 68 дБ) и *A*++ «Ограждающие конструкции со сверхвысокой звукоизоляцией» (R_w равные 74 дБ и выше).



1 – экспериментально полученная частотная характеристика R_{max} для легких конструкций на комплексе АК; 2 – расчетная частотная характеристика $R_{гр.\ косв}$ для легких конструкций на комплексе АК; 3, 4 – смещенный оценочный спектр изоляции воздушного шума для R_{max} и $R_{гр.\ косв}$ соответственно

Рисунок 2 – Определение границ применения методов измерений звукоизоляции легких ограждающих конструкций в АК по методике [6]

Анализируя рисунок 2, можно заключить, что для испытательного стенда АК измерения стандартным методом были возможны для конструкций классов звукоизоляции *C* и ниже. Класс *B* (нормируемый одночисловой параметр звукоизоляции от 56 до 61 дБ) нижней границей также попадает в область звукоизоляции, где косвенная передача звука не оказывает влияния на результаты экспериментальных исследований. Звукоизоляция ограждающих конструкций класса *B* и конструкций с высокой звукоизоляцией (R_w более 61 дБ, класс *A*) корректно могла быть получена только интенсиметрическим методом. То же относится и к ограждающим конструкциям с очень высокой звукоизоляцией (R_w более 68 дБ, класс *A*+), но полностью данный класс конструкций быть измерен не мог, так как значение собственной звукоизоляции стенда АК ($R_{w\,max}$ = 72 дБ) входит в данный диапазон. Специализированные конструкции класса *A*++ со сверхвысокими значениями звукоизоляции не могли быть измерены на стенде АК без увеличения защиты от косвенной передачи звука из КВУ в КНУ.

Таким образом можно заключить, что применение интенсиметрического метода измерения звукоизоляции позволяет расширить спектр конструкций, которые могут быть испытаны на стендах с невысокими значениями собственной звукоизоляции ($R_{w\,max}$ = 60 – 65 дБ) или при приближении звукоизоляции испытываемых конструкций к этим значениям. Предложенная в работе [6] методика может быть использована для определения типов ограждающих конструкций, для которых следует использовать

стандартный метод и типов конструкций, для которых целесообразно использовать интенсиметрический метод. Пример подобного анализа приведен выше для двух испытательных стендов ННГАСУ.

Список использованных источников

1. СП 51.13330.2011. Защита от шума, с учетом изменений №1, 2, 3, 4. – Москва: ФАУ ФЦС.
2. СП 275.1325800.2016. Конструкции ограждающие жилых и общественных зданий. Правила проектирования звукоизоляции – Москва: ФАУ ФЦС.
3. ГОСТ 27296-2012. Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций. – М.: Стандартинформ.
4. ГОСТ Р 71833-2025 (ИСО 15186-1:2000) «Здания и сооружения. Лабораторные измерения звукоизоляции строительных элементов с использованием интенсивности звука». – М.: Стандартинформ.
5. Патент № 2729945 C1 Российская Федерация, МПК G10K 11/00. Устройство для определения уровня изоляции воздушного шума ограждающей конструкцией : № 2019126539 : заявл. 30.01.2019 : опубл. 13.08.2020 / В. Н. Бобылев, А. Г. Боганик, П. А. Гребнев [и др.] ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Акустик Групп", Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет" (ННГАСУ).
6. Гребнев, П. А. Методика определения границ применения интенсиметрического метода при измерениях звукоизоляции в лабораторных условиях / П. А. Гребнев // Приволжский научный журнал. – 2025. – № 2(74). – С. 43-52.
7. Гребнев, П. А. Лабораторные исследования сверхвысокой звукоизоляции ограждений / П. А. Гребнев, Д. В. Монич // Жилищное строительство. – 2025. – № 6. – С. 17-24.
8. Гребнев, П. А. Типология современных звукоизолирующих ограждающих конструкций зданий / П. А. Гребнев // Приволжский научный журнал. – 2024. – № 3(71). – С. 25-39.
9. Цукерников И.Е. Оценка условий измерения при определении звукоизоляции строительных изделий методом интенсиметрии в лабораторных условиях // Noise Theory and Practice ООО "ИАК", Санкт- Петербург, 2024. – Т.10. №2(37). – С. 7-16
10. Сравнительная оценка методов определения изоляции воздушного шума строительными изделиями в области низких частот по ГОСТ р 10140-4 и ISO 15186-3 / И. Е. Цукерников, Т. О. Невенчанная, Н. Е. Щурова, Л. А. Тихомиров // Сборник трудов, посвященных памяти академиков РААСН В.М. Бондаренко и Г.Л. Осипова : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика РААСН В.М. Бондаренко и Материалы Международной научной конференции, посвященной памяти академика РААСН Г.Л. Осипова, Москва, 01–03 июля 2025 года. – Москва: Российская академия архитектуры и строительных наук, 2025. – С. 119-127.

УДК 534.21:628.517.2

87.55.29: Производственные, транспортные и иные шум. Исследование шумов. Методы и средства борьбы.

К ВОПРОСУ О НОРМИРОВАНИИ ШУМОВОГО РЕЖИМА И РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ ШУМОЗАЩИТЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ИМПУЛЬСНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЗВУКА

Жоголева Ольга Александровна,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» e-mail: zhogoleva.olga@rambler.ru

Матвеева Ирина Владимировна,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» e-mail: times02@yandex.ru

Особенности импульсного шума и необходимость его нормирования.

Под импульсным шумом понимается шум, состоящий из одного или нескольких последовательных сигналов (импульсов), длительность каждого из которых не превышает 1 с.

Импульсный шум является особым видом непостоянных во времени шумов, оказывающим наиболее агрессивное негативное воздействие на организм человека [1]. Для снижения этого негативного воздействия необходима разработка целого комплекса мер, требующего применения для этого надежных расчетных методов, учитывающих особенности формирования, распространения в пространстве импульсной звуковой энергии и ее изменения во времени. Такие исследования импульсного шума в необходимом объеме для разработки этих мер ранее не производились.

Во второй половине 20-го века и в начале 21-го века большое количество исследований было направлено на оценку воздействий импульсного шума на человека с целью его последующего гигиенического нормирования [2-4]. В результате исследований было доказано, что импульсные шумы имеют определенные, присущие только им особенности воздействия на организм человека и эти особенности необходимо учитывать при гигиеническом нормировании.

В обзоре, приведенном в статье [4], указано, что порог слуховой чувствительности при воздействии импульсного шума зависит от длительности импульсов. Отмечено, что наибольшие изменения наблюдаются при длительности 1000 мс, а с уменьшением длительности импульсов снижается и биологическая активность шума. Установлено также, что с ростом частоты импульсов, *имп/с*, снижение слуховой чувствительности уменьшается. При исследованиях было установлено, что нарушение слуховой чувствительности зависит от скорости нарастания уровней звукового давления импульса, от неопределенности интервалов ожидания импульсов, от перепадов между максимальными и фоновыми значениями уровней шума [1,4]. В процессе исследований доказано, что центральная нервная система чувствительна к динамическим параметрам импульсного шума. Неблагоприятные воздействия на систему растут с увеличением длительности импульса, со снижением частоты следования импульсов, с ростом превышений уровней импульсного звука над фоновым шумом, с увеличением неопределенности следования импульсов [4].

В целом было установлено, что импульсный шум, как и постоянный, оказывает специфические воздействия на слуховую систему, но при этом происходит более глубокая и более быстрая потеря слуха. Импульсный шум оказывает значительное влияние на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы, органы дыхания, вестибулярный аппарат, обмен веществ и т.д. Доказано, что импульсное шумовое воздействие более агрессивно и к нему более сложно адаптироваться [4]. По указанным причинам специалистами по гигиене импульсный шум был выделен как отдельный вид шума и разработана методика его гигиенического нормирования. Как указано в статье [5], разработка и корректировка требований к импульсному шуму сводилась:

- к обнаружению, измерению физических характеристик, установлению закономерностей распространения шума во времени и в пространстве;
- к выявлению характера и степени влияния шума на организм;
- к обоснованию гигиенически приемлемых уровней шума в окружающей среде;
- к разработке и внедрению технических, технологических и других решений, обеспечивающих соблюдение нормативных уровней шума и, следовательно, ограничение его влияния на организм человека;
- к прогнозированию гигиенической ситуации с учетом перспектив технического развития производственных источников импульсного шума.

На основании гигиенических исследований было принято считать, что шум относится к импульсным, если разность уровней, корректированных по А, составляет величину $L_{I\text{макс}} - L_{S\text{макс}} \geq 7$ дБ, где $L_{I\text{макс}}$ и $L_{S\text{макс}}$ - наибольшие значения уровней шума измеренных соответственно с временными коррекциями «импульс» и «медленно» согласно ГОСТ Р 53188.1-2019 [6]. Данное условие использовалось ранее при определении импульсного шума в нормативном документе СНиП 23-03-2003 [7] и в более ранних его версиях. При этом указывалось, что при наличии импульсного шума допустимые величины уровней должны были быть снижены на 5дБ по сравнению с нормами для постоянного шума. В настоящее время данное условие и само определение импульсного шума из современной версии документа исключено (см. СП 51.13330.2011 [8]). В первую очередь это связано с тем, что из ГОСТ 23337-2014 [9] исключено количественное определение импульсного шума, а оставлено только его качественное, весьма размытое, определение, которое нельзя использовать для решения практических задач по снижению импульсного шума с целью ограничения его вредного воздействия на организм человека.

Такое исключение импульсного шума, как отдельного вида шумов в настоящее время привело к тому, что борьба с ним производится без учета особенностей его возникновения, пространственного распространения и временных изменений.

Причиной этого, на наш взгляд, является отсутствие расчетных методов, дающих возможность анализировать пространственные и временные изменения импульсного шума при изменении характеристик источников импульсного звука, а также оценивать влияние на шумовой режим геометрических

параметров и акустических характеристик помещений. Отсутствие возможностей прогнозирования изменений характеристик импульсного шума влияет на акустическую и экономическую эффективность мер борьбы с импульсным шумом, и в первую очередь, на выбор излучающих импульсный шум инструментов и другого подобного производственного оборудования.

По указанным причинам считаем необходимым вернуть нормативные требования к импульсному шуму как к отдельному виду шумов. Считаем также, что невозможность в настоящее время практически реализовать

какие-то отдельные положения принятых норм не является основанием для необоснованного снижения нормативных требований, влияющих на состояние работающих в условиях повышенных уровней импульсного шума, а также на качество их профессиональной деятельности. За основу при нормировании следует использовать требования, изложенные в СанПиНе 1.2.3685-21 [10].

Необходимость и возможность разработки методических рекомендаций по расчету импульсного шума и проектированию мер по его ограничению.

Выбор методов и средств снижения любого вида шума определяются возможностью надежного прогнозирования его энергетических характеристик до и после принятия мер снижение шума. Это относится и к импульсному шуму с учетом условий его формирования [11].

При оценке шумового режима в помещениях необходимо иметь сведения о шумовых характеристиках источников шума [12]. В случае импульсного шума, к ним относятся: уровень звуковой мощности, временная форма импульса, его длительность и периодичность, фактор направленности и угол пространственного излучения. Сведения об этих параметрах дают возможность определить изменения шумового режима во времени при действии конкретного источника импульсного звука [13]. Наличие сведений об этих характеристиках позволит производить целенаправленные мероприятия по снижению импульсного шума за счет выбора более эффективного по акустическим параметрам инструмента и оборудования, а также разрабатывать их менее шумные образцы. Для установления энергетических характеристик источников импульсного звука необходимо разработать соответствующие методики их определения и на этой основе в паспорт оборудования включить его шумовые характеристики, требуемые при оценке импульсного шума.

Надежная оценка шумового режима и установление его соответствия нормативным требованиям возможна при наличии методов расчета импульсного шума, обеспечивающих получение сведений о пространственных и временных изменениях шума [14,15]. Такие методы расчета необходимы также и при разработке шумозащитных мероприятий [16,17,18].

В настоящее время разработаны необходимые для этих целей расчетные методы, выполнена оценка их точности и показаны возможности их использования при решении различных задач по снижению импульсного шума. Разработаны алгоритмы методов и компьютерные программы для их реализации при решении различных акустических задач [19,20,21].

Компьютерные программы входят в состав программного комплекса, позволяющего решать различные задачи по оценке шумового режима и разработке средств снижения импульсного шума [22].

Таким образом, в настоящее время сотрудниками ТГТУ и НИИСФ РААСН создан математический аппарат для всестороннего исследования импульсного шумового режима помещений и предложены средства для его реализации, показаны возможности и методики использования этого аппарата при выборе средств снижения импульсного шума.

Наличие такого аппарата дает возможность в случае установления нормативных требований к ненормируемым в настоящее время характеристикам импульсного шума производить оценку их соответствия этим нормам [23,24].

На основе полученных в работе результатов имеется возможность разработки методических рекомендаций в виде конкретного пособия к нормативному документу, в котором будут установлены допустимые нормативные величины к импульсному шуму.

Список использованных источников

1. Суворов Г.А. Импульсный шум и его влияние на организм человека / Г. А. Суворов, А. М. Лихницкий // Ленинград : Медицина., 1975. - 207 с.

2. Хаймович М.Л. О влиянии импульсного шума на организм работающих // III Всесоюзная конференция по борьбе с шумом и вибрацией: материалы тезисов докладов секции «Действие шума и вибрации на организм». Челябинск, 1980. С.35-37

3. Суворов Г.А. Роль информационной неопределенности нестационарного шума в процессе его действия на организм человека / Г.А. Суворов, А.М. Лихницкий // Новые системы исследований шумов и вибраций и кибернетическая диагностика машин и механизмов: Материалы Всесоюзного симпозиума. Каунас. 1970. С.77-79.

4. Симухин В.В. Медико-биологические эффекты импульсных шумов и особенности их гигиенического нормирования / В. В. Симухин, А. А. Ворона, А. В. Богомолов [и др.] // Безопасность в техносфере. 2012. Т. 1. № 6. С. 36-43.

5. Симухин В.В. Исследование влияния импульсного шума в целях гигиенического нормирования / В.В. Симухин // Военно-медицинский журнал 2011. Т. 332. №°12. - С. 42-43.

6. ГОСТ Р 53188.1-2019 Шумомеры. Часть 1. Технические требования

7. СНиП 23-03-2003 Защита от шума.

8. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменениями 1-4).

9. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий.

10. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

11. Антонов А.И. Условия, определяющие процессы формирования шумового режима в замкнутых объемах, и их учет при оценке распределения звуковой энергии в помещениях / А.И. Антонов, А.В. Бацунова, И.Л. Шубин // Приволжский научный журнал. 2015. №3(35). С. 89-96.

12. Леденев В.И. Исследование влияния характеристик источников импульсного шума на распределение звуковой энергии в помещениях / В.И. Леденев, О.А. Жоголева, М.А. Пороженко, В.А. Аистов // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт: Материалы VIII-ой Международной научно-практической конференции. Тамбов. 2021. С. 216-218.

13. Антонов А.И. Оценка шума в помещениях с источниками импульсного звука периодического действия / А.И. Антонов, А.В. Бацунова, С.И. Крышов // Вестник МГСУ. 2011. №3-1. С. 48-53.

14. Антонов А.И. Методы оценки пространственно-временных изменений импульсного шума при проектировании шумозащиты в производственных зданиях/ А.И. Антонов, В.И. Леденев, И.В. Матвеева, Е.О. Соломатин // Приволжский научный журнал. 2021. № 4(60). С. 9-16.

15. Антонов А.И. Моделирование реверберационных процессов в производственных помещениях с импульсными источниками звука / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Приволжский научный журнал. 2022. № 3(63). С. 9-17.

16. Антонов А.И. Выбор и обоснование методов снижения негативного воздействия импульсную шума в производственных помещениях / А.И. Антонов, В.И. Леденев, О.А. Жоголева, М.А. Пороженко // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2023. № 6 (1066). С. 4-6.

17. Антонов А.И. Учет фонового шума при проектировании шумозащиты в помещениях с импульсными источниками звука / А.И. Антонов, В.И. Леденев, М.А. Пороженко, И.В. Матвеева // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2021. № 11(1047). С. 26-28.

18. Антонов А.И. Методика оценки влияния звукопоглощающих облицовок на структуру звуковых полей в помещениях с импульсными источниками звука / А. И. Антонов, В. И. Леденев, О. А. Жоголева, И. В. Матвеева // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2022. № 6(1054). С. 34-36.

19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663771. Расчет энергетических характеристик шума в помещении при действии импульсного источника / А. И. Антонов, В. И. Леденев, О. А. Жоголева // Заявка 2022662313; дата поступления 19.07.2022; зарегистрирована 29.06.2022.

20. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661324. Расчет максимального уровня на рабочем месте производственного помещения при действии двух источников импульсного шума / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев // Заявка 2022660436; дата поступления 20.06.2022; зарегистрирована 07.06.2022.

21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023664601. Программа для автоматизированного преобразования графиков уровней непостоянного шума в цифровой формат / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев // Заявка 2023663384; дата поступления 26.06.2023; зарегистрирована 05.07.2023.

22. Программный комплекс для расчета импульсного шума в производственных помещениях / А. И. Антонов, О. А. Жоголева, В. И. Леденев, И. В. Матвеева // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума. Тамбов, 2023. – С. 277-278.

23. Антонов А.И. Расчеты акустической эффективности шумозащитных экранов на основе численного решения уравнения дифракции звука / А. И. Антонов, В. П. Гусев, В. И. Леденев [и др.] // Жилищное строительство. 2024. № 6. С. 10-15.

24. Антонов А.И. Расчеты ненормируемых параметров импульсного шума при выборе средств его снижения в производственных зданиях / А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, И. Л. Шубин // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2024. № 5(1077). С. 20-23.

УДК 69.056.53
67.01.11: Современное состояние и перспективы развития

АКТУАЛЬНОСТЬ И НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЕ ВРЕМЯ

Казанцева Виктория Вячеславовна
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения имени Александра I», студент
e-mail: kazantsevaviktoria05@gmail.com

Фролова Елена Викторовна
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения имени Александра I», старший преподаватель кафедры «Архитектурно-строительное проектирование»
e-mail: efrolova.07@mail.ru

В современную эпоху российские строительные комплексы продолжают работать над тем, чтобы предоставить населению доступное и качественное жилье. Хотя монолитное строительство занимает заметные лидирующие позиции, панельное домостроение не только удерживает свои позиции, но и проходит через значительные качественные изменения.

Основной причиной возрождения панельных технологий стало обновление нормативно-технической базы. В 2025-2026 годах были введены в действие новые версии ключевых ГОСТов, регулирующих производство как наружных трехслойных стеновых панелей, так и внутренних стеновых конструкций. Кроме того, в апреле 2026 года начал действовать первый свод правил по пожарной безопасности для многоэтажных деревянных зданий из CLT-панелей, что открывает новые возможности для индустриального строительства.

Цель работы – опираясь на текущие нормативные акты и уже разработанные проекты в области новой технологии панельного домостроения, выявить значимость, технический потенциал и перспективы развития панельного домостроения в России.

Актуальность и предпосылки массового панельного домостроения. В 2026 году панельное домостроение в России обретает «второе дыхание» не как символ советского прошлого, а как высокотехнологичная индустрия. Возрождение базируется на трех ключевых элементах: освободившиеся мощности заводов, цифровая модернизация производства и завершение формирования нормативной базы.

- Реальные производственные мощности и модернизация.

Российские домостроительные комбинаты (ДСК) уже сегодня демонстрируют, что панель перестала быть синонимом унылых серых «хрущевок».

Цифровизация производства. На миасском заводе «Пуск», который является дочерним предприятием Завода КПД, была внедрена автоматизированная линия для сварки сетки и система циркуляции паллет. Эти нововведения позволили улучшить качество железобетонных изделий и увеличить производственные мощности до 40 тысяч кубометров в год. Этого объема достаточно для возведения 50 тысяч квадратных метров жилой площади. Губернатор Алексей Текслер лично подтвердил, что это оборудование используется для строительства домов бизнес-класса, таких как ЖК «Притяжение» в Челябинске и EVO Park, а не для привычных панельных домов (рисунок 1).



Рисунок 1 – ЖК «Притяжение» В Челябинске

Кастомизация. Якутский домостроительный комбинат (ДСК), начавший свою работу в феврале 2025 года после обновления с внедрением современного российского оборудования, производит однослойные панели. Эти панели предоставляют возможность создавать вентилируемые фасады в любом дизайнерском стиле, соответствующем пожеланиям застройщиков, а также реализовывать разнообразные планировки квартир. Такое решение эффективно устраняет проблему архитектурной однотипности панельных домов.

- Переход на заводские домокомплекты для малоэтажного строительства.

Исследования, проведенные ЦНИИЭП жилища и опубликованные в журнале «Жилищное строительство» (выпуск №3 за 2025 год), демонстрируют, что ключевым направлением развития является переориентация мощностей домостроительных комбинатов на выпуск полных комплектов для малоэтажных строений. Это решение обеспечивает 100% готовность дома на заводе, что особенно важно для обеспечения строительства в короткие сроки в северных регионах. Каждый год объемы индивидуального жилищного строительства (ИЖС) превышают многоэтажное строительство на 8-10 миллионов квадратных метров.

Текущие рыночные тенденции свидетельствуют о том, что из предпосылок формируются реальные проекты. В Мурманской области, где из-за короткого строительного сезона панельное строительство сталкивается с серьезными трудностями, заключено соглашение со строительной фирмой о начале строительства индивидуальных домов из CLT-панелей (перекрестно-склеенной древесины) уже в 2026 году. Это решение принято в связи с «высоким неудовлетворенным спросом на жилье», который не может быть удовлетворен с помощью монолитного строительства в условиях Заполярья.

- Технологический прорыв: сталь вместо бетона.

«Северсталь», один из ведущих металлургических холдингов в стране, создала инновационную технологию для заводского изготовления строительных панелей, основанных на легких стальных тонкостенных конструкциях (ЛСТК). Эти панели включают в себя стальной каркас, влагостойкую обшивку и наполнение легким пенобетоном (рисунок 2). Конструкции обладают превосходными характеристиками тепло- и шумоизоляции, а также огнестойкостью, что подтверждено испытаниями. Благодаря этой технологии, строительство можно ускорить в три раза (20 дней вместо 60), а стоимость домокомплектов уменьшается на 20% по сравнению с традиционными методами [7]. Компания прогнозирует, что к 2030 году prefab-технологии могут занять до 50% рынка частного домостроения.



Рисунок 2 - Международный форум 100+ TechnoBuild в Екатеринбурге, компания «Северсталь»

Обновление нормативной базы, как двигатель развития отрасли. Фундаментом качества в строительстве выступает актуальная нормативная база. Для панельного домостроения на сегодняшний день ключевыми документами являются два межгосударственных стандарта, введенных в действие 2024-2026 годах.

- *ГОСТ 31310-2024 «Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем».*

Согласно Приказу Росстандарта от 12 декабря 2024 г. №1890-ст, данный стандарт был введен в действие на территории Российской Федерации с 1 июня 2025 года [4]. Весь 2026 год он действует в качестве основного документа, устанавливающего требования к производству и контролю качества трехслойных стеновых панелей.

ГОСТ 31310-2024 распространяется на трехслойные бетонные и железобетонные панели с эффективными утеплителями, предназначенные для наружных стен жилых, общественных и производственных зданий. Он заменил предыдущую версию – ГОСТ 31310-2015, срок действия которого завершился 1 июня 2025 года [4].

Принятие новой версии стандарта было обусловлено необходимостью:

1. Повышения требований к энергоэффективности – ужесточение норм по приведенному сопротивлению теплопередаче.

2. Совершенствования конструкций стыков – обеспечение надежности и долговечности швов между панелями.

3. Внедрение новых материалов – регламентация применения современных эффективных утеплителей и композитных связей.

4. Унификация методов контроля – внедрение более точных неразрушающих методов испытаний.

Стандарт устанавливает классификацию панелей по типам, требованиям к параметрам, расчетным нагрузкам, маркам бетона, конструкциям, арматуре, закладным деталям, соединительным связям, а также методы приемки, контроля, транспортирования и хранения [4].

- *ГОСТ 12504-2025 «Панели стеновые внутренние бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий».*

Вторым ключевым документом, вступившим в силу с 1 января 2026 года, является ГОСТ 12504-2025. ГОСТ 12504-2025 распространяется на бетонные и железобетонные панели, изготавливаемые из легкого бетона, плотного силикатного бетона, ячеистого бетона автоклавного твердения и тяжелого бетона [3]. Стандарт не распространяется на предварительно напряженные панели и панели специального назначения (вентиляционные, электропанели и т.д.), а также на панели из плотного силикатного бетона и ячеистого бетона автоклавного твердения, предназначенные для стен помещений с относительной влажностью воздуха свыше 75%.

Важнейшее нововведение в документ является четкое разделение панелей по участию в восприятии нагрузок на несущие и ненесущие (панели перегородок). Также в документе:

1. Установлены требования по звукоизоляции со ссылкой на СП 51.13330.2011 «Защита от шума»;

2. Регламентированы конструктивные элементы панелей: выступы, вырезы, пазы, ниши, стальные закладные детали;

3. Прописаны требования к каналам для скрытой сменяемой электропроводки, коробкам для выключателей и штепсельных розеток;

4. Определены координационные размеры панелей с кратностью модулю [3].

Технологический облик современного панельного домостроения.

Серия ПИК-2: отсутствие несущих стен внутри квартир. Одним из самых заметных примеров развития панельного домостроения можно назвать серию ПИК-2, созданную группой компаний «ПИК» в 2016 году (рисунок 3). Главное отличие этой серии от предыдущих заключается в принципиально новой конструктивной схеме.



Рисунок 3 – Панельный дом серии ПИК-2

- Перенос несущей нагрузки на наружные стены.

В стандартных панельных домах, таких как ПИК-1, внутри квартир находятся несущие поперечные стены, которые нельзя сносить. В домах ПИК-2 несущими являются только внешние стены и перегородки между квартирами. Внутри самой квартиры установлены ненесущие перегородки [5]. Это означает, что, приобретая квартиру в доме ПИК-2, владелец получает полную свободу в организации внутреннего пространства своего жилья.

- Материал перегородок.

В домах серии ПИК-2 межкомнатные перегородки выполняются из пазогребневых плит (ПГП-80) толщиной 80 мм [5]. Это современный гипсовый материал, с которым легко работать при перепланировке. В некоторых случаях застройщик может сдавать квартиру в формате «свободной планировки» - без части внутренних перегородок.

- Возможности перепланировки.

Отсутствие несущих стен внутри квартиры кардинально упрощает перепланировку. Владельцы могут:

– Сносить любые внутренние перегородки (кроме межквартирных стен);
– Объединять комнаты (например, делать кухню-гостиную)
– Переносить дверные проемы;
– Менять конфигурацию санузлов (в разумных пределах).

Однако, даже если стена не несущая, любая перепланировка в многоквартирном доме требует официального согласования.

- Дополнительные улучшения.

Помимо свободы планировки, была увеличена высота потолков, улучшенная шумоизоляция (межквартирные стены и перекрытия стали толще до 200-220 мм), а также появление балконов в части квартир [5].

Серия ДОММОС. Ещё один заметный пример успешного панельного домостроения – это универсальная система «ДОММОС», разработанная холдингом ГВСУ «Центр» (рисунок 4).

Основной недостаток старых панельных серий, таких как П-44, П-3, II-49 и другие, заключается в их полной стандартизации и отсутствии индивидуальности. В отличие от них, современные серии панельных домов представляют собой гибкую систему, напоминающую мобильный конструктор, где из стандартных элементов можно создавать уникальные здания.



Рисунок 4 – Панельный дом универсальной системы «ДОММОС»

Разнообразие форм: система предоставляет возможность сдвигать секции, применять угловые блоки и возводить здания с различной высотой, от 6 до 25 этажей [1].

Уникальный облик: возможность создавать новый проект фасада.

Материалы: для отделки применяется клинкерная плитка различных цветов и фактур, а также архитектурный бетонный орнамент [1].

Высота потолков: в жилых зонах высота достигает 3 метров (по сравнению со стандартными 2,64 м в старых постройках). На первых этажах, предназначенных для коммерческих целей, потолки варьируются от 3,6 до 6 метров [1].

Шаг стен: за счет увеличения шага стен до 6,6 метра появилась возможность реализовывать свободные планировки и вариативные решения. Квартиры можно объединять или перепланировать под свои нужды [1].

Современные опции: в каждой квартире проектируются не только стандартные балконы, но и французские балконы (остекление в пол), а также предусмотрены места для установки внешних блоков кондиционеров.[1]

Герметизация: окна монтируются прямо на заводе, а геометричность швов проверяется тепловизорами еще на этапе производства. Это исключает продувание и образование мостиков холода, которые были одной из проблем старых КПД.

Скорость: монтаж дома ДОММОС занимает от 6 до 12 месяцев.

Сухой монтаж: эта технология основывается на использовании «сухого узла» для соединения элементов, что дает возможность выполнять работы в любое время года, не снижая качество [1].

Новое направление: многоэтажное домостроение из CLT-панелей. Одним из важных событий в области индустриального строительства стало создание полноценной нормативно-правовой базы для строительства многоквартирных жилых домов с использованием древесных конструкций, в частности технологии CLT-панелей, представляющих собой перекрестно-клееные деревянные плиты. Это направление, ранее считавшееся экспериментальным, теперь переходит в категорию законодательно утвержденных и промышленно применимых технологических решений.

Основным документом, предоставившим возможности для развития деревянного панельного домостроения, является СП 549.1311500.2026 «Многоквартирные жилые дома с использованием конструкций из древесины и древесных материалов. Требования пожарной безопасности» [2]. Этот свод правил был утвержден приказом МЧС России №136 от 26 февраля 2026 года и начал действовать с 1 апреля 2026 года [2].

Введение нового свода правил кардинально изменило ландшафт деревянного домостроения в России:

1. Легализация возведения многоэтажных зданий. Документ определяет нормы пожарной безопасности для проектирования, строительства и реконструкции многоквартирных жилых домов секционного типа с высотой от 5 до 15 метров [2].

2. Научное подтверждение безопасности. Экспериментальные исследования показали, что CLT-панели могут выдерживать воздействие открытого огня при температуре до 100°С более полутора часов, а также обладают сейсмостойкостью на уровне 9 баллов. Это опровергает старые стереотипы о высокой пожароопасности деревянных строений [2].

3. Уменьшение административных преград. Внесенные изменения в нормативные документы дали возможность возводить здания высотой 4-5 этажей без необходимости получать дополнительные разрешения, отличающиеся от тех, которые требуются для каменных строений.

Технология CLT обладает рядом существенных преимуществ, что делает ее привлекательной для реализации жилищных программ, особенно в сложных климатических условиях:

– Скорость строительства:

Технология позволяет возводить здание в 2-3 раза быстрее по сравнению с традиционными материалами. Отсутствие «мокрых» процессов дает возможность вести работы круглогодично [6]. Благодаря заводскому производству и перекрестному склеиванию слоев, панели имеют минимальную усадку, что позволяет сразу приступить к отделочным работам.

– Энергоэффективность:

Древесина обладает низкой теплопроводностью. Дома из CLT-панелей отличаются высокой теплоэффективностью, что критически важно для северных регионов России и позволяет сократить затраты на отопление.

– Экологичность:

CLT является единственным строительным материалом с отрицательным углеродным следом. Панели производятся из возобновляемого сырья, а срок их службы составляет более 50 лет с возможностью полной переработки [6].

– Легкость и прочность:

Вес такой конструкции меньше, чем у железобетонных аналогов. Это снижает нагрузку на фундамент и позволяет использовать его более экономичные типы [6].

Несмотря на малый срок существования данного вида строительства на российском рынке, уже был реализован ряд успешных проектов, подтверждающих эффективность деревянного домостроения из CLT-панелей.

Чукотский автономный округ

В рамках государственной программы по расселению аварийного и ветхого жилья в селах ведется строительство 58 одноэтажных индивидуальных домов из CLT-панелей. В поселке Инчоуне в эксплуатацию введены уже 12 из 22 запланированных объектов. Проект демонстрирует успешное применение технологии в экстремальных условиях – вечная мерзлота, сильные ветра, соленый морской воздух.

Вологодская область, город Сокол

Построены первые четырехэтажные жилые дома из CLT-панелей, что стало отправной точной для отработки технологии в многоквартирном сегменте [6] (рисунок 5).



Рисунок 5 – Жилой дом из CLT-панелей в Вологодской области

Нижегородская область Технопарк «Саров».

Спроектированы два четырехэтажных кампуса Национального центра физики и математики с применением CLT-технологий [6].

Также уже запланированы проекты на 2026 год и далее.

Мурманская область

Подписано соглашение между правительством региона и BN Group о строительстве жилья из CLT-панелей. В числе запланированных объектов – восьмиэтажный многоквартирный дом, коттеджный поселок и два туристических объекта. Это будет первое деревянное сооружение из CLT-панелей этажностью свыше 5 этажей.

Сочи, Федеральная территория «Сириус»

Компания BN Group проектирует шестиэтажный сейсмоустойчивые кампусы для образовательного центра, что подтверждает готовность технологии к применению в сейсмических районах.

В ближайшей перспективе отрасль ждет переход от единичных проектов к масштабному экспериментальному строительству, которое окончательно сформирует доверие рынка и населения к новой технологии строительства из деревянных CLT-панелей.

Заключение. В 2026 году панельное домостроение в России остается востребованным, превращаясь в высокотехнологичную отрасль, специализирующуюся на создании энергоэффективного и прочного жилья.

Ключевым фактором, обеспечивающим этот переход, является введение в действие обновленной нормативной базы:

1. ГОСТ 31310-2024 – задает современные стандарты качества для трехслойных стеновых панелей наружных стен, регламентируя применение эффективных утеплителей, контроль связей и методы испытаний.
2. ГОСТ 12504-2025 – устанавливает требования к внутренним стеновым панелям, включая четкое разделение на несущие и ненесущие, требования к звукоизоляции и инженерным коммуникациям.
3. СП 549.1311500.2026 – впервые в России нормативно закрепляет возможность строительства многоквартирных деревянных домов из CLT-панелей высотой до 15 метров с обеспечением требуемого уровня пожарной безопасности.

Современные панельные дома предлагают потребителю качественно новый уровень комфорта: отсутствие несущих стен внутри квартир, свободные планировки, улучшенную шумоизоляцию и эстетичный внешний облик, практически неотличимый от монолита.

Панельное домостроение остается стратегическим направлением для выполнения государственных жилых программ благодаря своей экономичности, скорости и постоянно повышающемуся качеству, закрепленного на уровне нормативной базы. Дальнейшее развитие панельной технологии строительства может уйти в область цифровизации производства (BIM-технологии), новых композитных материалов и применения CLT-панелей в многоэтажном строительстве.

Список использованных источников

1. АО Холдинговая компания «ГВСУ Центр». Строительство как искусство. – 20.08.2020. – URL: https://www.gvsu.ru/news/stroitelstvo_kak_iskusstvo.html.
2. Главное управление МЧС России по Республике Саха (Якутия). Пожарная безопасность многоэтажного деревянного домостроения: новые правила актуальны для Якутии. – 12.04.2026. – URL: https://14.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/5731908.
3. ГОСТ 12504-2025. Панели стеновые внутренние бетонные и железобетонные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия. – Введ. 01.01.2026. – М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2025.
4. ГОСТ 31310-2024. Панели стеновые трехслойные железобетонные с эффективным утеплителем. Общие технические условия. – Введ. 01.06.2025. – М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2024.
5. Московский совет архитектуры и инженерии. Согласование перепланировок. СЭМ-2. – 26.02.2026. – URL: https://msai.ru/seriya-sem-2-soglasovanie-pereplanirovki/.
6. РБК Компании. Эксперты Группы АФК «Система» рассказали об эффективности технологии CLT. – 14.03.2025. – URL: https://companies.rbc.ru/news/uscTGBVFvk/ekspertyi-gruppyi-afk-sistema-rasskazali-ob-effektivnosti-tehnologii-clt/.
7. Строительство.ru. Всероссийский отраслевой интернет-журнал. «Северсталь» планирует занять долю рынка ИЖС. – 03.10.25. – URL: https://rcmm.ru/press-relizy/71502-severstal-planiruet-zanjat-dolju-rynka-izhs.html.

УДК 624.152.634
67.09.33: Технические условия, расчет и возведение оснований и фундаментов (включая шпунтовые ограждения).

РАСЧЕТ АНКЕРНЫХ ШПУНТОВЫХ СТЕНОК В УСЛОВИХ СЛОЖИВШЕЙСЯ ЗАСТРОЙКИ

Кокоев Мухамед Нургалиевич,
ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский Государственный университет, доктор технических наук, профессор, кафедра «Строительное производство»
e-mail: kbagrostroy@yandex.ru

Казиев Валерий Михайлович,
ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, доцент, кандидат экономических наук, кафедра «Землеустройство и экспертиза недвижимости»
e-mail: val-kaziev@mail.ru

Анкерные шпунтовые стенки — одно из самых востребованных решений для устройства котлованов, подпорных стен и противофильтрационных завес в условиях плотной городской застройки. Их популярность объясняется скоростью монтажа, компактностью и возможностью работать в стеснённых условиях без масштабной перекладки коммуникаций. Шпунтовые стенки остаются безальтернативным или наиболее рациональным вариантом для большинства городских проектов.

Анкерные шпунтовые стенки по расчетным схемам подразделяют на не защемленные и защемленные. Если шпунт забит неглубоко, при деформации стенки нижний конец ее может смещаться в сторону котлована (рисунок 1, *а),* причем этому смещению препятствует только пассивное давление грунта со стороны котлована. Такие стенки называют не защемленными.

При большой глубине забивки при деформации стенки нижний конец ее смещается в сторону засыпки (рисунок 1, *б),* вызывая пассивное давление и с этой стороны. Такие стенки называют защемленными.



а-не защемленная стенка; б-защемленная стенка
Рисунок 1 – Деформации анкерных шпунтовых стенок

Защемленная стенка требует большей глубины забивки шпунта, но вместе с тем в опасном сечении последнего возникает меньший расчетный изгибающий момент, а в анкерах такой стенки возникают меньшие усилия.

Поэтому в защемленных стенках сечения шпунтин и анкеров могут быть меньших размеров.

Вопрос о том, устраивать ли анкерную шпунтовую стенку не защемленной или защемленной, решается проектировщиком в каждом конкретном случае из технико-экономических соображений. Ниже приведены основы расчетов анкерных шпунтовых стенок.

Не защемленные анкерные шпунтовые стенки. Силы, действующие на подпорную стенку, видны на расчетной схеме см. рисунок 2.

Для обеспечения запаса в расчет вводят только часть величины пассивного давления E_n. Пренебрегая трением по стенке (в запас прочности), получаем, что стенка находится под действием:

-активного давления земли E_A,

- части пассивного давления земли где принимаем K=2 [2,4]

$$E_n^{'} = \frac{E_n}{K} \quad (1)$$

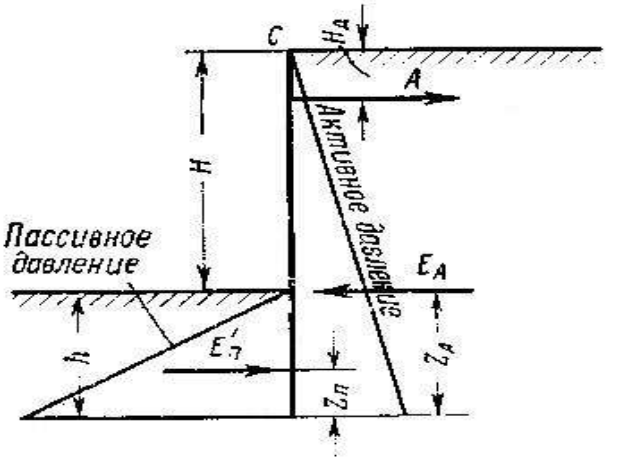


Рисунок 2 – Расчетная схема не защемленной анкерной шпунтовой стенки

Из условий равновесия стенки можно написать уравнения:

- сумма проекций всех сил на горизонтальную ось

$$A + E_n^{'} - E_a = 0$$

или

$$A = E_A - E_n^{'} \quad (2)$$

- сумма моментов всех сил относительно точки приложения силы *A*

$$E_n^{'}(H + h - H_A - z_n) - E_A(H + h - H_A - z_a) \quad (3)$$

Глубина забивки шпунта h находится методом подбора. Задавшись величиной h, определяем соответствующие ей величины E'_n и H_A, подставляя затем значения h, E'_n и E в уравнение (3), добиваемся выполнения условий равенства.

Определив глубину забивки h, из уравнения (2) находим величину усилия A в анкере

Вычислив усилие в анкере и глубину забивки, определяем по правилам строительной механики максимальные усилия в шпунтовой стенке и подбираем соответствующие сечения.

Если на шпунт, кроме давления земли, действует еще и одностороннее давление воды, порядок расчета не меняется [2,3].

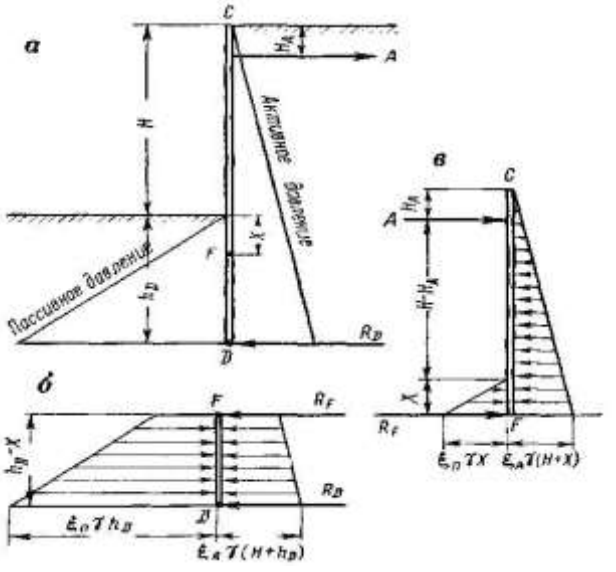


Рисунок 3 – Расчетная схема защемленной анкерной шпунтовой стенки
а-общая схема; б-нижняя часть стенки; в-верхняя часть стенки

Диаграмму давлений принимаем такую же, как для свободных стенок, где давление на нижний конец стенки (ниже точки *D)* заменяем сосредоточенной силой R_D, приложенной в точке *D.* Расчетная схема шпунтовой стенки показана на рисунке 3, *а.*

Для нахождения трех неизвестных: расчетной глубины забивки *ho,* величины усилия *A* (натяжения анкера) и силы *Rn* могут быть использованы всего два уравнения равновесия. Поэтому для решения задачи необходимо ввести дополнительное условие, в качестве которого в практике проектирования [5,6] обычно принимают предположение, что упругая ось шпунтовой стенки имеет в точке *D* вертикальную касательную. Использование этого предположения приводит к весьма сложным вычислениям, а графо-аналитический расчет, которым можно заменить вычисления, также довольно громоздок.

Для упрощения, в результате многочисленных графо-аналитических расчетов [1,2,3], приближенно установлена глубина точки F, изгибающий момент в которой равен нулю. Расстояние *x* от дна котлована до точки *F* приведено в таблице 1.

Таблица 1

Значения расстояния *x* от дна котлована до точки *F*
(к расчетной схеме рисунок 3)

Угол внутреннего трения	20°	25°	30°	35°	40°
Расстояние x от дна котлована до точки F	0,25	0,15	0,08	0,035	0,007

Чтобы найти расчетную глубину $3/2_D$, мысленно разрезаем стенку на глубине *x* и отбрасываем верхнюю часть стенки, заменяя ее действие на нижнюю часть стенки силой R_F (рисунок 3, *б).* Затем, составив уравнение моментов всех сил относительно точки *D* и решая его относительно величины h_D, получаем

$$h_D = \frac{3}{2} H \frac{\xi_A}{\xi_n - \xi_A} - \frac{x}{2} + \sqrt{\frac{6R_F}{(\xi_n - \xi_A)\gamma}} \qquad (4)$$

где ξ_A – коэффициент активного давления грунта, равный для случая горизонтальной засыпки;
ξ_n – коэффициент пассивного давления грунта, равный для случая горизонтального дна котлована;
x – объемный вес грунта. –

Для нахождения входящей в формулу (4) величины R_F, а также величины усилия *A* натяжения анкера рассматриваем часть стенки выше точки *F* (рисунок 3, в).

Из уравнения моментов относительно точки приложения силы *A* находим величину R_F, а из уравнения моментов относительно точки приложения силы R_F величину А

$$R_F = \frac{\gamma}{2} \frac{\xi_A (H+x)^2 \left[\frac{2}{3}(H+x) - H_A\right] - \xi_n x^2 \left(H - H_A + \frac{2}{3}x\right)}{H - H_A + x} \qquad (5)$$

$$A = \frac{\gamma}{6} \frac{\xi_A (H+x)^3 - \xi_n x^3}{H - H_A + x} \qquad (6)$$

Приведенный способ расчета основан на предположении о гидростатическом характере распределения давления по высоте стенки.

Так как в действительности равнодействующая активного давления приложена выше уровня, определяемого по теории предельного равновесия, действительное натяжение в анкере получается больше расчетного, см. формула (6). Поэтому для обеспечения достаточной надежности анкеров, получаемые по расчету усилия в них следует увеличивать примерно на 20%.

В вышеизложенном расчете трение грунта по стенке не учитывалось. Однако при угле внутреннего трения больше 25°, трение по стенке более чем в 2 раза увеличивает величину пассивного давления. Поэтому, если для грунта ниже дна котлована угол внутреннего трения > 25°, следует в формулы (4), (5) и (6) подставлять вместо $E_n^{'}$ величину $2c_п$.

Необходимую глубину забивки *h* принимаем равной $1{,}2A_D$.

Анкерные сваи, платы и щиты, как правило, закрепляют в грунте за пределами линии, проведенной из нижнего конца шпунтовой стенки под углом внутреннего трения. Расстояние *c* от анкерной плиты до стенки (рисунок 4, а) должно удовлетворять условию (7)

$$c \geq (h + H)\ ctg\ \varphi \qquad (7)$$

Призма выпирания, возникающая перед анкерной плитой, не должна пересекаться с призмой обрушения у шпунтовой стенки. Из этого условия для стенки, изображенной на рисунок 4,*б,* расстояние *c* должно удовлетворять формуле

$$c \geq (h + H)\, tg\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) + H_A tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \tag{8}$$

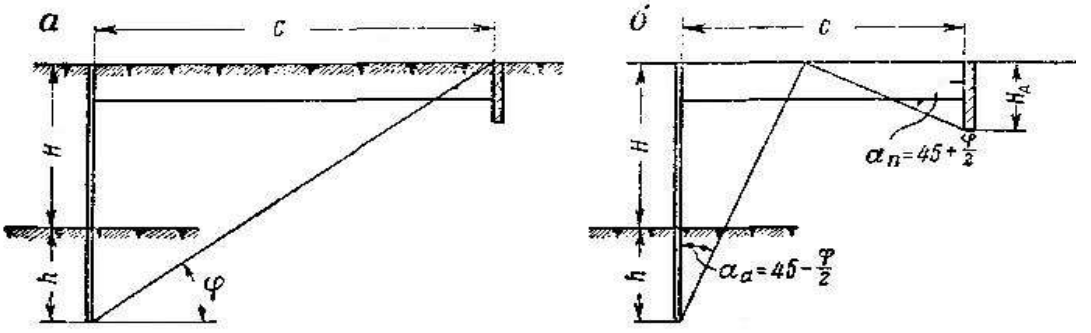
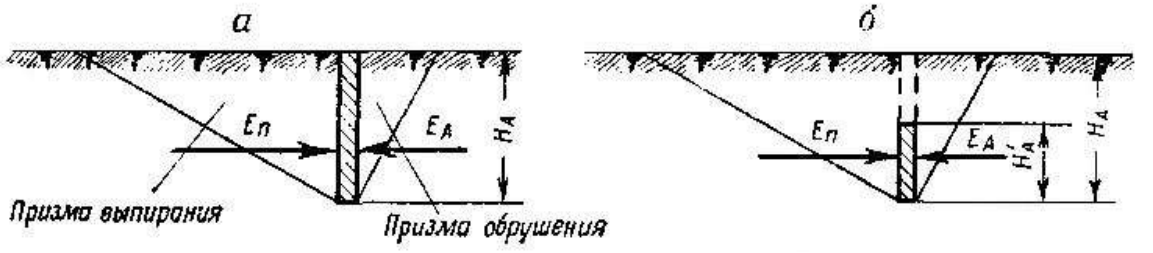


Рисунок 4 – Расположение анкерных плит относительно шпунтовой стенки
а-условие 1; б-условие 2;

Если анкерная плита представляет собой сплошную стенку, доходящую до поверхности земли (рисунок 5,а), то высота ее должна быть назначена такой, чтобы удовлетворялось условие

$$A = \frac{1}{K}(E_n - E_A) \tag{9}$$

где *A* – усилие натяжения анкера;
K – коэффициент запаса, принимаемый обычно равным 2;
E_n – пассивное давление грунта на анкерную плиту;
E_A – активное давление грунта на анкерную плиту.



а-верх анкерной плиты совпадает с поверхностью засыпки; б- верх анкерной плиты ниже поверхности засыпки
Рисунок 5 – Расчетная схема анкерных плит

На основании множества исследований [1,2,3,4,5,6], сопротивление анкерных плит, верхняя грань которых расположена ниже поверхности земли (рисунок 5,б), можно принять равным сопротивлению плит, доходящих до поверхности, если только их высота H_A не меньше половины расстояния от нижнего края до поверхности земли H_A, т. е. если

$$H_A' \geq \frac{H_A}{2}$$

В анкерных плитах, состоящих из отдельных блоков, сопротивление возрастает на величину трения по боковым граням клина выпирания и определяется по формуле

$$A = \frac{1}{K}[(E_n - E_A)b + 2E_0 tg\varphi] \tag{10}$$

где *b* – ширина анкерной плиты;
E_0 – давление грунта на боковые грани клина выпирания.

$$E_0 = \frac{1}{6}\gamma\xi_A H_A^3 tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (11)$$

Следует учесть, что сила трения по обеим боковым граням выпирания не может быть больше сопротивления выпиранию грунта, расположенного между двумя соседними плитами. Отсюда вытекает следующая контрольная формула для определения величины E_n

$$2E_0 tg\varphi \leq (E_n - E_A) \quad (12)$$

где E_0 – расстояние между соседними плитами.

Работа анкерных закреплений в виде свай аналогична работе свободной шпунтовой стенки, расчет которой проводится на действие сосредоточенных сил.

В анкерных шпунтовых стенках часть давления земли воспринимается распорками или анкерами. При этом уменьшаются необходимая глубина забивки шпунта в грунт, величина расчетного изгибающего момента и соответственно с этим требуемое сечение шпунта.

Шпунтовые сваи, кроме удовлетворения условию прочности под действием давления земли, должны еще обладать достаточной сопротивляемостью продольному изгибу в процессе забивки, в связи с чем гибкость шпунтовых свай не должна превосходить $\frac{l}{r} = 150 \div 180$

Анкерные шпунтовые стенки имеют ключевые преимущества для городских условий при строительстве подземных паркингов, фундаментов высотных зданий и тоннелей метро шпунт формирует временную или постоянную несущую стену.

В стеснённых условиях, когда экскавация ведётся вплотную к существующим зданиям, шпунт позволяет удерживать грунт вертикально, не затрагивая пятно соседней застройки.

Шпунтовые стенки (особенно корытного профиля типа) с высоким моментом сопротивления замков отсекает грунтовые воды, что часто позволяет отказаться от глубинного водопонижения, опасного осадками для окружающих домов.

Являются наиболее рациональным вариантом устройства набережных и подпорных стен в целом и в частности, при благоустройстве прибрежных зон и укреплении откосов в стеснённом пространстве городских рек.

Есть ограничения. Шпунт «не любит» крупнообломочные грунты (валуны, морену) — замок может разорваться, и стенка потеряет водонепроницаемость. Постоянные конструкции, служащих десятилетия, требуют антикоррозионную защиту либо утонение стенки ниже установленных проектных или значений.

Список использованных источников

1. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии): учебник для вузов / Б. И. Далматов. – 8-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2026. – 416 с. ISBN 978-5-507-56539-9

2.Долматов, Г.Н. Мелиорация: учеб, пособие / Г.Н. Долматов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – 134 с.

3.Кокоев М.Н., Казиев В.М., Сасиков А.С. Расчет подпорной стенки в условиях городской застройки. В сборнике: V Международный Косыгинский Форум. Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики». – Москва, 2025. – С. 106-110.

4.Пчелкин В.В., Семенова К.С, Владимиров С.О. Конструкция, способ строительства и метод расчета дренажа автомобильных тоннелей. ВЕСТНИК ИНЖЕНЕРНОЙ ШКОЛЫ ДВФУ. – 2024. № 3(60). – С. 82-95

5.Справочник проектировщика инженерных сооружений под ред. А.П.Величкина. Киев, Будівельник, 1973. – 552 с.

6.Справочник проектировщика инженерных сожжений. В Ш Козлов, В Д Альшиц. А. И Аптекман и др: Под ред. Д. А. Коршунова, – 2-изд., перераб. и доп. – К.; Будівельник, 1988. – 352 с. ISBN 5-7705-0067-0

УДК 624.138.9
67.11.29: Основания и фундаменты

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ГРУНТА НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСИТКИ ОСНОВАНИЯ, АРМИРОВАННОГО ЛИСТАМИ ИЗ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Копылов Сергей Сергеевич,
ФГБОУ ВО "Тамбовский Государственный Технический университет", аспирант,
e-mail: sergey.kopylov.2000@list.ru

Антонов Василий Михайлович,
ФГБОУ ВО "Тамбовский Государственный Технический университет", кандидат технических наук, доцент кафедры "Конструкции зданий и сооружений"
e-mail: antonov280562@mail.ru

Армирование грунтов – улучшение деформационно-прочностных характеристик грунта путем создания композитного материала, состоящего из грунтовой матрицы, воспринимающей сжимающие усилия, и арматуры, устойчивой к сдвиговым и растягивающим напряжениям.

Широкое распространение армогрунт нашел при устройстве подпорных стен, при стабилизации склонов и откосов, застройке оврагов, при предотвращении сползания набережных. Использование таких традиционных решений как массивные подпорные сооружения и свайные фундаменты, часто является дорогим и трудоемким. В этом случае перспективным является армирование грунтов, повышающее общую устойчивость таких конструкций. К числу достоинств армомассивов можно отнести долговечность, высокую скорость строительства и экономию материалов для фундаментов.

Более 40 лет в лаборатории механики грунтов ТГТУ проводятся эксперименты по исследованию напряженно-деформированного состояния армированных грунтовых оснований. В этой статье приведены результаты испытаний поверхностных моделей фундаментов на однородном песчаном основании при трех фиксированных значениях плотности $\rho_1 = 1{,}50\ \frac{г}{см^3}$, $\rho_2 = 1{,}56\ \frac{г}{см^3}$ и $\rho_3 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$. Требуемая плотность грунта обеспечивалась определенным количеством ударов трамбовки по 1 следу и контролировалась методом режущего кольца.

В качестве армирующих элементов использовались листы из непластифицированного поливинилхлорида непрозрачные, неокрашенные, изготовленные методом прессования. Размеры листа: 150×150мм, глубина заложения $h_з = 2$ см, толщина – 6 мм. Плотность $\rho = 1{,}38\ \frac{г}{см^3}$.

В качестве модели фундамента использовался металлический штамп размером $D_{st} = 100$ мм с гладкой контактной поверхностью.

Для фиксации изменения давления в грунте с глубиной использовались месдозы, которые устанавливались на глубине 1, 3 и 5 см от армирующего элемента. Величина вертикального давления измерялась центральным датчиком. Горизонтальное давление фиксировалось двумя боковыми. Схема расположения месдоз представлена на рисунке 1.

Испытания проводились в металлическом лотке размером $180 \times 100 \times 100(h)$см, (рисунок 1). Передача центральной вертикальной нагрузки с ножа на модель фундамента производилась посредством рычажной системы с соотношением плеч (передаточным числом) - 1:10.

Скорость развития перемещений (S) во всем диапазоне нагрузок оценивалось двумя индикаторами часового типа ИЧ-10 (ГОСТ 577-68), размещенных на противоположных точках моделей. Каждую ступень нагрузки выдерживали до условной стабилизации осадки – $0{,}1\ \frac{мм}{час}$. Количество ступеней нагрузок принималось не менее 10. Опыты считались завершенными, если происходила потеря несущей способности основания грунта или осадка достигала условного предельно допустимого значения $[S_u] = 10$ мм $(0{,}1D_{st})$.

В экспериментах оценивали влияние плотности на несущую способность и деформативность армированного основания. Для определения характера развития напряжений по глубине изменяли расстояние от подошвы армирующего элемента до месдоз. Результаты опытов представлены на рисунках 2-13.

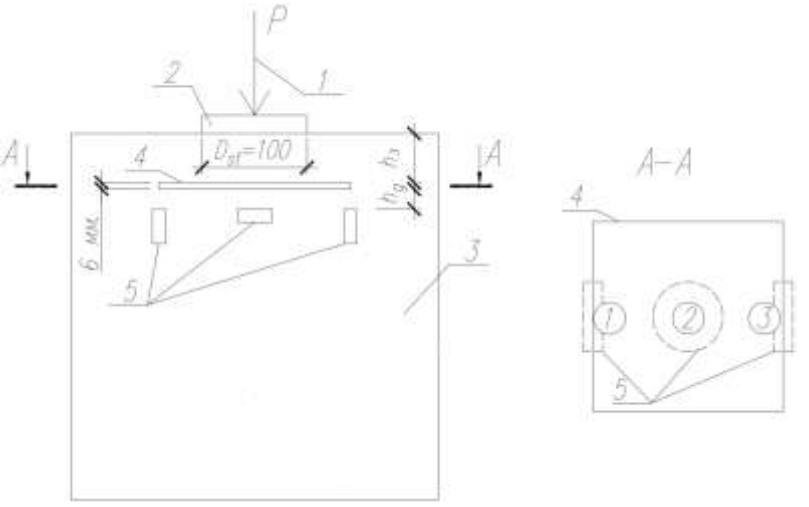


Рисунок 1 – Схема армирования и расположения моделей:
1 – место передачи нагрузки, 2 – штамп, 3 – песчаный грунт, 4 – армирующий элемент,
5 – месдозы, $h_з = 2$ см – расстояние до армирующего элемента; $h_д$- расстояние от армирующего элемента до датчиков

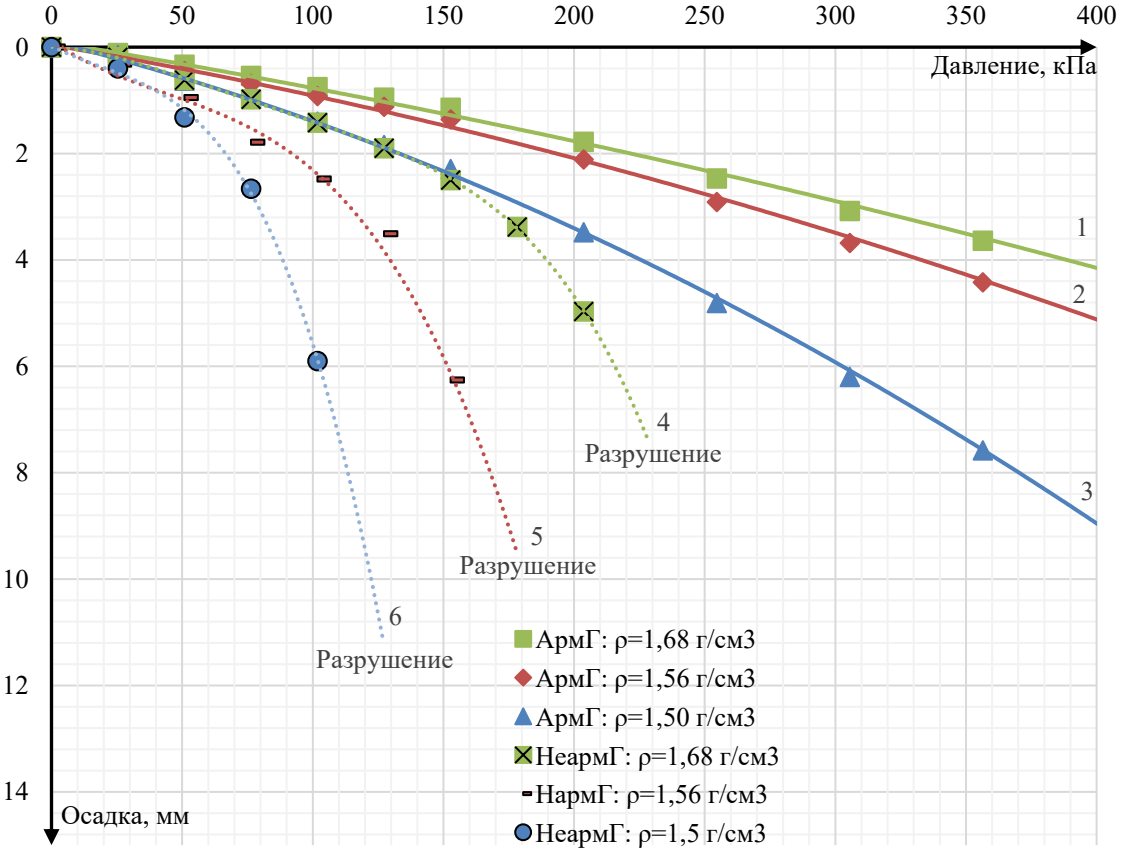


Рисунок 2 – Влияние плотности засыпки на развитие деформаций штампа на армированном и неармированном основании.

Уравнения аппроксимации:
1: y = 6E-06x^2 + 0,008x - 0,1003;
2: y = 1E-05x^2 + 0,0084x - 0,0405;
3: y = 3E-05x^2 + 0,0125x - 0,1117;
4: y = 8E-09x^4 - 3E-06x^3 + 0,0003x^2 + 0,0019x - 0,0006;
5: y = 3E-06x^3 - 0,0003x^2 + 0,0322x - 0,1048;

6: y = 7E-06x^3 - 0,0004x^2 + 0,0256x - 0,0226.

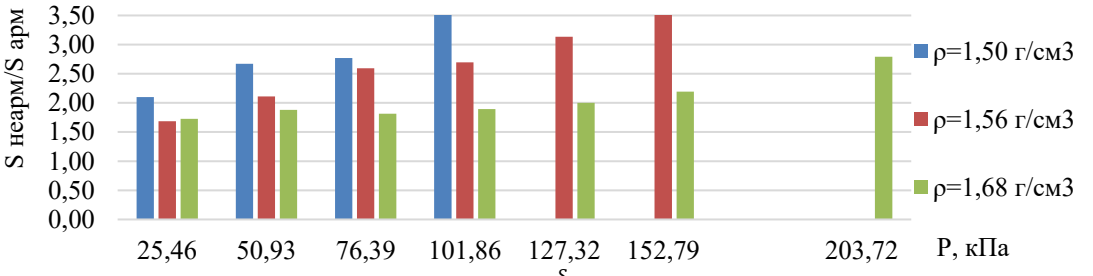


Рисунок 3 – Эффективность армирования ($\frac{S_{неарм}}{S_{арм}}$) в зависимости от плотности засыпки

Максимальное снижение значений осадки для армированного основания по сравнению с неармированным составило: при плотности $\rho_1 = 1{,}50\ \frac{г}{см^3}$ – 78,3 %, $\rho_2 = 1{,}56\ \frac{г}{см^3}$ – 76,3 %, $\rho_3 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$ – 54,4 %,

Для оценки сжимаемости армированных грунтовых массивов по сравнению с неармированными основаниями рассчитывался модуль деформации грунтов для каждой ступени приложений нагрузок по формуле Шлейхера:

$$E = \omega d(1-\nu^2)\frac{\Delta p_i}{\Delta s_i}, \quad (1)$$

где ω – коэффициент, зависящий от формы жесткого штампа (для круглого штампа $\omega = 0{,}78$; для квадратного – 0,88);

d – ширина или диаметр штампа;

ν – коэффициент Пуассона грунта;

Δp_i – приращение давления;

Δs_i – приращение осадки.

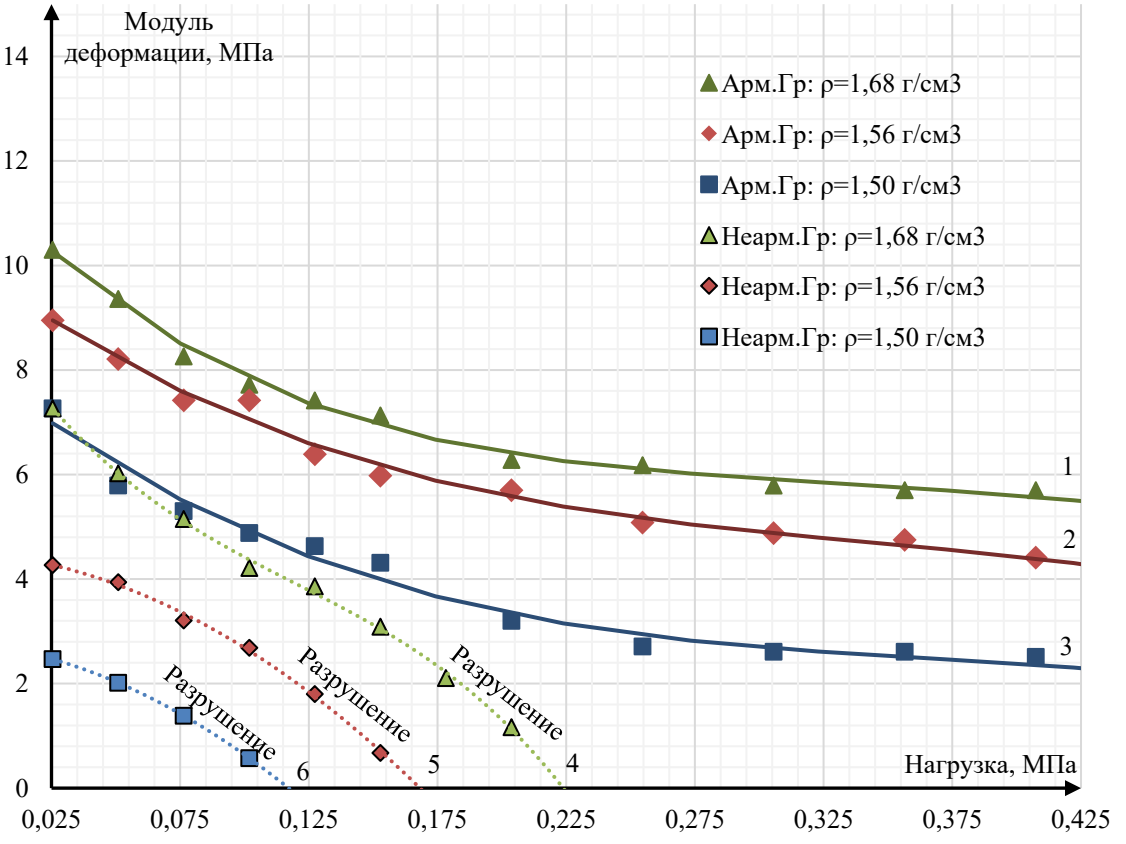


Рисунок 4 – Влияние плотности грунта на значения модуля деформации (E)

Уравнения аппроксимации:
1: $y = 187{,}41x^4 - 315{,}61x^3 + 189{,}64x^2 - 52{,}039x + 11{,}473$;
2: $y = -87{,}701x^3 + 90{,}429x^2 - 35{,}557x + 9{,}7985$;
3: $y = -53{,}579x^3 + 65{,}513x^2 - 30{,}054x + 7{,}2846$;
4: $y = -1167{,}4x^3 + 420{,}27x^2 - 75{,}509x + 8{,}9361$;
5: $y = -127{,}23x^2 - 5{,}2698x + 4{,}4839$;
6: $y = -138{,}55x^2 - 7{,}1611x + 2{,}7391$.

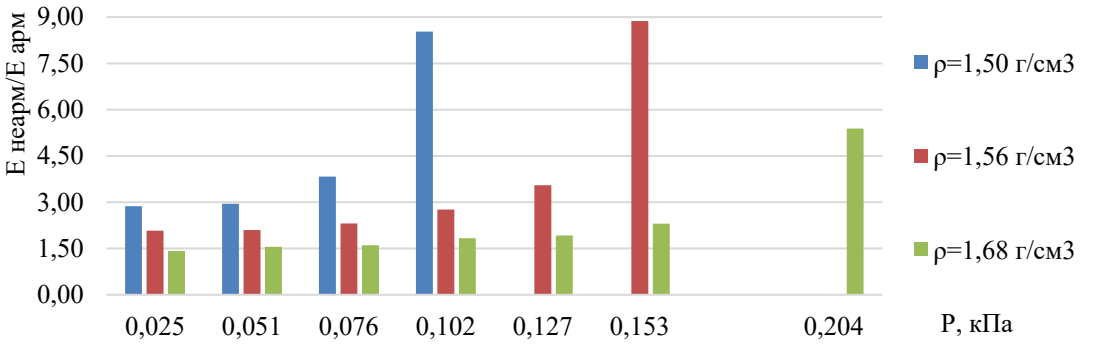


Рисунок 5 – Эффективность армирования ($\frac{E_{арм}}{E_{неарм}}$) в зависимости от плотности засыпки

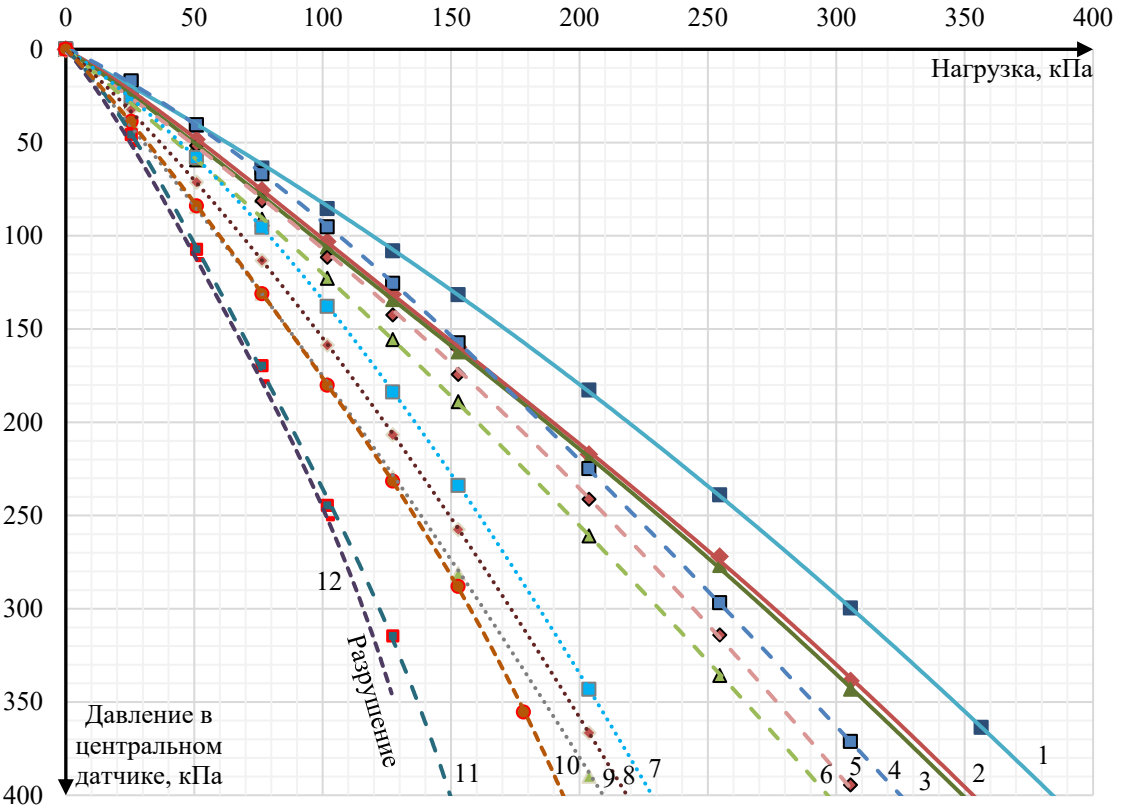


Рисунок 6 – Влияние плотности засыпки на значения вертикальных напряжений в толще грунта при:

1 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 5$ см и $\rho_1 = 1{,}50$ $\frac{г}{см^3}$;
2 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 5$ см и $\rho_1 = 1{,}56$ $\frac{г}{см^3}$;
3 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 5$ см и $\rho_3 = 1{,}68$ $\frac{г}{см^3}$;
4 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 3$ см и $\rho_2 = 1{,}50$ $\frac{г}{см^3}$;
5 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 3$ см и $\rho_2 = 1{,}56$ $\frac{г}{см^3}$;
6 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 3$ см и $\rho_3 = 1{,}68$ $\frac{г}{см^3}$.

7 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 1$ см $\rho_1 = 1{,}50$ $\frac{г}{см^3}$;
8 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 1$ см $\rho_2 = 1{,}56$ $\frac{г}{см^3}$;
9 – заглублении центрального датчика армированного основания $h_д = 1$ см $\rho_3 = 1{,}68$ $\frac{г}{см^3}$.
10 – заглублении центрального датчика неармированного основания $h_д = 1$ см $\rho_1 = 1{,}68$ $\frac{г}{см^3}$;
11 – заглублении центрального датчика неармированного основания $h_д = 1$ см $\rho_2 = 1{,}56$ $\frac{г}{см^3}$;
12 – заглублении центрального датчика неармированного основания $h_д = 1$ см $\rho_3 = 1{,}50$ $\frac{г}{см^3}$.

Уравнения аппроксимации:
1: $y = 0{,}0008x^2 + 0{,}7399x + 0{,}5474$;
2: $y = 1E\text{-}13x^6 - 2E\text{-}10x^5 + 1E\text{-}07x^4 - 3E\text{-}05x^3 + 0{,}0048x^2 + 0{,}7702x + 0{,}1347$;
3: $y = 1E\text{-}13x^6 - 2E\text{-}10x^5 + 1E\text{-}07x^4 - 3E\text{-}05x^3 + 0{,}0035x^2 + 0{,}8789x + 0{,}1713$;
4: $y = 0{,}0008x^2 + 0{,}9911x - 9{,}3345$;
5: $y = 0{,}0012x^2 + 0{,}938x + 1{,}5441$;
6: $y = -4E\text{-}14x^6 + 5E\text{-}11x^5 - 2E\text{-}08x^4 + 4E\text{-}06x^3 + 0{,}0005x^2 + 1{,}135x - 0{,}1997$;
7: $y = -4E\text{-}06x^3 + 0{,}0044x^2 + 0{,}9402x - 0{,}4575$;
8: $y = -2E\text{-}06x^3 + 0{,}003x^2 + 1{,}275x - 0{,}8877$;
9: $y = 0{,}0015x^2 + 1{,}6095x - 0{,}2567$;
10: $y = 0{,}0015x^2 + 1{,}6095x - 0{,}2567$;
11: $y = 1E\text{-}07x^4 - 4E\text{-}05x^3 + 0{,}0062x^2 + 1{,}4215x - 0{,}2427$;
12: $y = 8E\text{-}07x^4 - 0{,}0002x^3 + 0{,}0266x^2 + 1{,}2375x + 0{,}1569$.

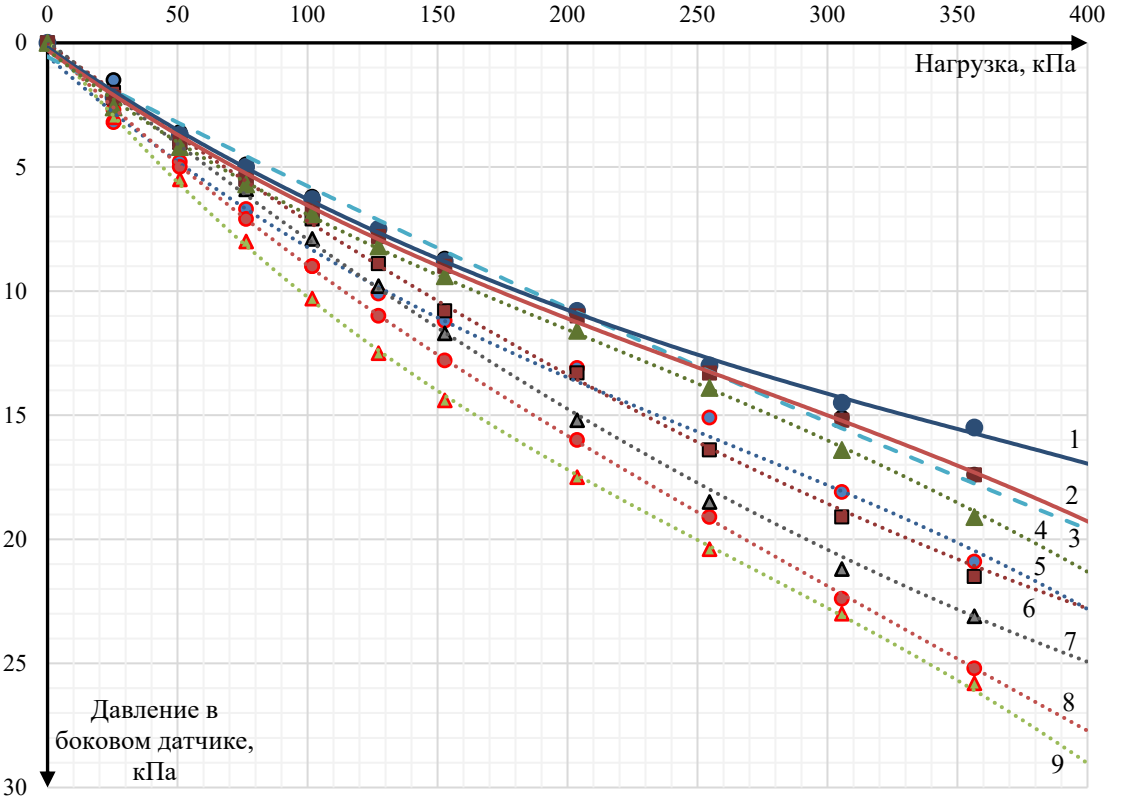


Рисунок 7 – Влияние плотности засыпки на значения боковых напряжений в толще грунта при:
1 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 5$ см и $\rho_1 = 1{,}50$ $\frac{г}{см^3}$;
2 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 5$ см и $\rho_1 = 1{,}56$ $\frac{г}{см^3}$;
3 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 3$ см и $\rho_1 = 1{,}50$ $\frac{г}{см^3}$;
4 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 5$ см и $\rho_3 = 1{,}68$ $\frac{г}{см^3}$;
5 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 3$ см и $\rho_3 = 1{,}56$ $\frac{г}{см^3}$;
6 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 1$ см и $\rho_2 = 1{,}50$ $\frac{г}{см^3}$;

7 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 3$ см и $\rho_1 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$;
8 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 1$ см и $\rho_2 = 1{,}56\ \frac{г}{см^3}$;
9 – заглублении бокового датчика армированного основания $h_д = 1$ см и $\rho_3 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$.

Уравнения аппроксимации:
1: y = 8E-13x^5 - 8E-10x^4 + 4E-07x^3 - 0,0002x^2 + 0,0733x + 0,1827;
2: y = 2E-07x^3 - 0,0001x^2 + 0,0744x + 0,2987;
3: y = -1E-05x^2 + 0,0536x + 0,5631;
4: y = -3E-10x^4 + 5E-07x^3 - 0,0002x^2 + 0,0843x + 0,2868;
5: y = 3E-07x^3 - 0,0002x^2 + 0,0945x + 0,532;
6: y = -5E-05x^2 + 0,0765x + 0,0194;
7: y = -6E-05x^2 + 0,0857x - 0,0702;
8: y = -3E-10x^4 + 4E-07x^3 - 0,0002x^2 + 0,1045x + 0,0702;
9: y = 3E-07x^3 - 0,0003x^2 + 0,1277x - 0,132.

Выводы.

1. Увеличение плотности грунта приводит к увеличению сил трения по контакту грунта с арматурой и, как следствие, – к повышению значений модуля деформации и снижению значений абсолютных осадок. Так, при повышении плотности с $1{,}50\ \frac{г}{см^3}$ до $1{,}68\ \frac{г}{см^3}$ значения модуля деформации для армированного основания увеличились в 1,42…2,74 раза. По сравнению с неармированным основанием значения модуля деформации возросли: при плотности $1{,}50\ \frac{г}{см^3}$ в 2,87…8,53 раза; при плотности $1{,}56\ \frac{г}{см^3}$ в 2,08…8,87 раза; при плотности $1{,}68\ \frac{г}{см^3}$ в 1,42…5,39 раза.

2. Характер распределения напряжений в основании также меняется в зависимости от плотности и глубины зоны, в которой они определяются. Так, при переходе от $h_д = 5$ см к $h_д = 1$ см вертикальные напряжения увеличились: в 1,42…1,85 раза при $\rho_1 = 1{,}50\ \frac{г}{см^3}$, в 1,43…1,90 раза при $\rho_2 = 1{,}56\ \frac{г}{см^3}$, в 1,58…1,90 раза при $\rho_3 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$. При изменении с $\rho_1 = 1{,}50\ \frac{г}{см^3}$ до $\rho_3 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$ вертикальные напряжения увеличились: в 1,03…1,53 раза при $h_д = 5$ см; в 1,11…1,68 раза при $h_д = 3$ см; в 1,10…1,40 раза при $h_д = 1$ см. Так, при переходе от $h_д = 5$ см к $h_д = 1$ см боковые напряжения увеличились: в 1,05…1,29 раза при $\rho_1 = 1{,}50\ \frac{г}{см^3}$; в 1,23…1,47 раза при $\rho_2 = 1{,}56\ \frac{г}{см^3}$, в 1,15…1,53 раза при $\rho_3 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$. При изменении с $\rho_1 = 1{,}50\ \frac{г}{см^3}$ до $\rho_3 = 1{,}68\ \frac{г}{см^3}$ боковые напряжения увеличились: в 1,07…1,36 раза при $h_д = 1$ см; в 1,11…1,47 раза при $h_д = 3$ см; в 1,41…1,76 раза при $h_д = 5$ см. Полученные данные подтверждают, что управление плотностью грунта является ключевым механизмом регулирования напряженно-деформированного состояния армированного массива.

Список использованных источников

1. Антонов В.М. «Влияние армирования на несущую способность и деформативность песчаного основания» (дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук). Волгоград - ВолгГАСА. - 1998.
2. Антонов В.М., Леденев В.В. Экспериментальные исследования армированных оснований //Вестник центрального регионального отделения РААСН., Вып.6, Воронеж-Тверь,2007, с.3-11.
3. Антонов В.М., Леденев В.В. Влияние уровня нагружения на деформации ползучести песков., Вестник отделения строительных наук РААСН.,Вып. 13, Том 1, Москва-Орел, 2009, с. 23-27
4. Антонов, В. М. Экспериментальные исследования армированных оснований: монография / В. М. Антонов; В. М. Антонов; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Тамбовский гос. технический ун-т". – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 79 с.
5. Антонов, В. М. Определение несущей способности горизонтально армированных песчаных оснований при циклических воздействиях / В. М. Антонов, И. А. Аль-Накди // Строительная механика и конструкции. – 2022. – № 3(34). – С. 141-150.
6. Джоунс, К.Д. Сооружения из армированного грунта / К. Д. Джоунс; Перевод с англ. В. С. Забавина; Под ред. В. Г. Мельника. – Москва.: Стройиздат, 1989. - 279 с.
7. Мирсаяпов, И. Т. Экспериментально-теоретические исследования работы армированных грунтовых массивов / И.Т. Мирсаяпов, А. О. Попов // Известия Казанского государственного университета. – Казань: 2008. - №2 – С.75-80.

8. Татьянников, Д. А. Исследование напряженного состояния армированных фундаментных подушек при помощи модельных штамповых испытаний / Д.А. Татьянников, А.Б. Пономарев // Вестник гражданских инженеров. – Пермь: 2017. -№ 1 (60). – С.120-126.
9. Тимофеева, Л.М. Предельная несущая способность армированных оснований // Основания и фундаменты в геологических условиях Урала: Межвуз. сб. научн. тр./ Перм. политехи, ин-т. - Пермь, 1991. - С. 9-24.

УДК 624.139.2
67.11.29: Основания и фундаменты

ОСНОВНЫЕ РИСКИ ДЛЯ ФУНДАМЕНТОВ РВС В КРИОЛИТОЗОНЕ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Косульников Максим Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», магистрант
e-mail: kosulnikov2002@mail.ru

Грунтовская Алиса Станиславовна,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», магистрант
e-mail: alisagruntovskaa@gmail.com

Краев Андрей Николаевич,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»
e-mail: kraevan1@tyuiu.ru

Современные климатические изменения, а именно тренд повышения температуры создает серьезные вызовы для устойчивости промышленной инфраструктуры нефтегазового комплекса. В соответствии с данными Росгидромета РФ от февраля 2026 г. [2] глобальное потепление, вызванное выбросами в слои атмосферы парниковых газов, в последующие годы будет набирать динамику. На территории РФ потепление наиболее существенно чем на всем Земном шаре, так для территории РФ потепление составляет 0,51 °С/10 лет, а для всего Земного шара в целом потепление 0,20 °С/10 лет. Наравне с этим, 2025 год вошел в первую тройку самых теплых периодов. Указанные ранее выбросы парниковых газов образуются в рамках техногенных воздействий, а также в процессе оттаивания многолетнемерзлых грунтов (ММГ) [12], что тем самым усиливает выбросы от техногенного воздействия. Вследствие чего, особое внимание при строительстве в зоне распространения ММГ требуется уделять подземной части зданий и сооружений.

Нефтегазодобывающие комплексы, сконцентрированные в большинстве случаях в условиях распространения ММГ, представляют собой совокупность технологически сложных и опасных производственных объектов по добыче, хранению и транспортировке нефти и газа. Среди которых одно из ключевых мест занимают вертикальные стальные резервуары (РВС) для хранения нефти и нефтесодержащих продуктов.

Вертикальный стальной резервуар (РВС) представляет из себя крупногабаритное наземное строительное сооружение в виде цилиндрической емкости, предназначенное для приема, хранения, измерения объема и выдачи нефти и нефтепродуктов [1]. Особенностью резервуаров является масштабность последствий при их отказе. Статистика насчитывает большое количество таких аварий, при том что она носит характер неполной в связи с наличием без огласных аварий, ввиду отсутствия крупного ущерба, приносимого экосистеме и здоровью людей. Разрушения РВС в большей степени носят неконтролируемый, быстротечный характер без видимых пластических деформаций.

Причинами отказов являются сложные условия работы как самого металла, характеризующиеся его свойствами или внутренней средой РВС из-за неравномерности распределения нагрузок, так и сварных швов, вызванные технологическими дефектами. Помимо этого, внутренняя среда РВС и внешняя окружающая среда даже при отсутствии дефектов металла и сварных швов, указанных ранее, приводят к аварийным ситуациям, так как возникают чрезмерные концентрации напряжений, вызванные осадками и просадками грунтов основания. Во-первых, ввиду большей гидростатической нагрузки и

нагрузки от конструкции самой стенки, включая вышележащие конструкции РВС. Во-вторых, из-за деградации криолитозоны, вызванной растеплением многолетнемерзлого грунта (ММГ) основания. Все указанное неизбежно ведет к разрушению не только самой инфраструктуры, но и экосистемы [14, 7]. Так примером из последних крупных аварий РВС является авария в 2020 году в Красноярском крае, при которой излив нефтепродукта составил объем более 20 тыс. тонн. Одной из причин этой аварии выделяют просадку части свайного фундамента из-за оттаивания ММГ [10].

Таким образом, для подержания безопасности сооружений РВС, входящих в структуру нефтедобывающих комплексов в рамках хранения углеводородов, требуются особое внимание к проектированию оснований и фундаментов.

На основании классификаций оснований и фундаментов, представленных в проанализированных научно-технических источниках [6, 13], составлена обобщенная схема классификаций оснований и фундаментов для РВС, изображенная на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схема вариантов оснований и фундаментов в зависимости от инженерно-геологических условий строительной площадки и объема РВС

Согласно рисунка 1, а также в соответствии с проанализированными научно-техническими источниками [6, 13], плитный фундамент может приниматься в рамках проектирования для РВС при грунтах в основаниях разных по литологическим и геокриологическим характеристикам. В большинстве случаев применяют плитный фундамент на естественном основании или на искусственном основании. В случае, когда плитный фундамент невозможен в применении из-за превышения деформаций плиты предельных значений, используется свайное поле кольцевого или сплошного типа [13]. Выделяют [13, 5] недостатки устройства свайного поля, связанные с экономической нецелесообразностью в виду дорогостоящих свай и работ по их устройству, а также неэффективной работы самих свай из-за ограничений прочностных характеристик грунтов по сравнению с прочностью материала свай. Несмотря на это, при применении свайного или плитного фундамента в условиях мерзлых и вечномерзлых грунтов в большей степени важно сохранение естественных отрицательных температур грунтов по сравнению с их литологическими характеристиками, так как это обуславливает большую эффективность работы указанных фундаментов [9].

Таким образом, при проектировании фундаментов для РВС стремятся использовать естественное основание, однако в условиях недостаточных прочностных характеристик грунтов требуется производить дополнительные усиления. При их невозможности выполнения или отсутствия требуемого влияния предусматривают использование искусственных оснований в виде свайного поля кольцевого или сплошного типа. Однако применительно к строительству РВС в условиях мерзлых и вечномерзлых грунтов без поддержания их отрицательной температуры использование фундаментов как плитного типа, так и свайного типа представляется невозможным.

В виду этого, а также в соответствии с нормативно-технической документацией [11], используют конструктивные решения и системы термостабилизации грунтов, которые в свою очередь представляют собой чаще естественно-действующие устройства, реже или при особых необходимостях искусственно действующие устройства. Конструктивные решения применимы в случаях использования свайного фундамента и представляют собой применение высокого ростверка для обеспечения проветриваемого

пространства между плоскостью перекрытия и плоскостью грунта, то есть проветриваемого подполья. В рамках системы термостабилизации при естественно-физическом процессе происходит циркуляции хладагента, а в случае искусственного процесса циркуляция хладагента выполняется при помощи дополнительного оборудования, когда отсутствует требуемый параметр для протекания естественно-физического процесса, указанного в первом случае. Для естественно-физического процесса как самые эффективные выделяют двухфазные системы. Указанные способы поддержания отрицательной температуры грунтов по принципу действия структурированы на схеме, представленной на рисунке 2.



Рисунок 2 - Схема вариантов исполнения охлаждения оснований и фундаментов зданий и сооружений

Основными видами устройствами систем термостабилизации в рамках использования для плитного и свайного фундамента РВС являются индивидуальные термостабилизаторы, горизонтальная естественнодействующая трубная система (ГЕТ) и вертикальная естественнодействующая трубная система (ВЕТ). Как было указано ранее, данные типы термостабилизации работоспособны при конкретном параметре, который представляется разностью температур наружного воздуха и грунта. Когда данный перепад температур отсутствует для систем термостабилизации применяются холодильные установки или тепловые насосы, подключаемые по дополнительным трубкам к основной системе [3].

В рамках устройства свайного фундамента РВС с проветриваемым подпольем при необеспечении требуемого естественного проветривания, а также при пластично-мерзлых грунтах [8] дополнительно применяют индивидуальные термостабилизаторы. Но выделяют [8] отсутствие возможности управлять процессом охлаждения грунта как без учета индивидуальных термостабилизаторов, так и с использованием индивидуальных термостабилизаторов. Помимо этого, данный способ устройства фундамента является экономически затратным, как было упомянуто ранее [13, 4, 12].

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Существующая угроза для одних из ключевых объектов нефтегазодобывающих комплексов, представленных в виде объектов хранения нефти и нефтесодержащих продуктов, а именно в рамках таких объектов, как РВС, характеризующейся протеканием глобального потепления требует ответственного подхода к конструированию фундаментов и обеспечению требуемых мерзлых состояний грунтов.
2. Основными типами фундаментов РВС представляются плитный и свайный фундаменты. В рамках устройства фундамента в условиях распространения мерзлых и вечномерзлых грунтов применительно к каждому типу предусматриваются устройства или конструктивные решения в рамках поддержания отрицательной температуры грунтов.
3. При устройстве фундамента РВС возможно подержание мерзлого состояния грунтов при помощи проветриваемого подполья, устройства индивидуальных термостабилизаторов, систем ГЕТ и

ВЕТ. Данные решения и системы возможны в комбинировании для повышения эффективности охлаждения грунтов. Так и сами системы термостабилизации ГЕТ и ВЕТ возможно использовать при искусственной циркуляции хладагента, представленной в виде термотрансформаторов.

Список использованных источников

1. ГОСТ 31385-2023 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические услвоия. [Электронный ресурс]. URL: https://base.garant.ru/407520941/ (дата обращения 01.05.2026)
2. Д 63 Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2025 год. – Москва, 2026. – 129 стр. ISBN 978-5-906099-58-7. [Электронный ресурс]. URL: https://www.meteorf.gov.ru/press/news/42993/(дата обращения 01.05.2026)
3. Долгих, Г. М. Анализ надежности и эффективности систем температурной стабилизации многолетнемерзлых грунтов в основаниях зданий и сооружений / Г. М. Долгих, С. Н. Окунев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – № 5. – С. 14-17. – EDN VICRJH.
4. Ибрагимов, Э. В. Оптимизация устройства оснований и фундаментов в криолитозоне (на примере РВС 20 000) / Э. В. Ибрагимов, Я. А. Кроник // Материалы Пятой конференции геокриологов России, Москва, 14–17 июня 2016 года. – Москва: «Университетская книга», 2016. – С. 259-265. – EDN WAKGSX.
5. Ибрагимов, Э. В. Экспериментальные исследования инновационных конструкций пологонаклонных термостабилизаторов грунта / Э. В. Ибрагимов, Я. А. Кроник, Е. В. Куплинова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4(45). – С. 208-220. – EDN SJSRMP.
6. Куприянов, В. М. Повышение эффективности эксплуатации вертикальных стальных резервуаров путем внедрения новых конструктивных решений в основаниях фундаментов : специальность 25.00.19 "Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ" : автореферат диссертации кандидата технических наук / Куприянов Василий Михайлович. – Уфа, 2007. – 131 с. – EDN NOPHDR.05.
7. Махутов, Н. А. Анализ риска аварий объектов нефтегазовой отрасли в арктических климатических условиях / Н. А. Махутов, А. М. Большаков, М. И. Захарова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2019. — Т. 85, N 2. — С. 48-54. – DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-2-48-54.
8. Охлаждаемые основания сооружений как эффективное и экономное техническое решение при обустройстве объектов на вечномерзлых грунтах/ Долгих Д.Г.// Neftegaz.RU. – 2016. – №9. – С. 48-49. – URL: https://magazine.neftegaz.ru/archive/500629/ (дата обращения 01.05.2026)
9. Паздерин Д. С. Динамика теплового состояния многолетнемерзлых грунтов в основании заглубленного трубопровода с применением охлаждающих устройств (термостабилизаторов): диссертация на соискание ученой степени кандидата Технических наук: 25.00.08 / Паздерин Дмитрий Сергеевич. – Тюмень, 2017.- 204 с.
10. Сазонов, А. Д. Разлив нефтепродуктов в норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия / А. Д. Сазонов, Р. С. Комаров, О. С. Передера // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2020. – Т. 1, № 5. – С. 173-177. – DOI 10.23885/2500-395X-2020-1-5-173-177. – EDN PPQRDP.
11. СП 25.13330.2020 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». [Электронный ресурс]. URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117292/ (дата обращения 01.05.2026)
12. Тайлашева, Д. Р. Последствия таяния многолетней мерзлоты в условиях глобального потепления и методы их предотвращения / Д. Р. Тайлашева // Инвестиции, градостроительство, технологии как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения : материалы XV Международной научно-практической конференции. В 2 частях, Томск, 12–14 марта 2025 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. – С. 97-102. – EDN QKFHVI.
13. Терентьева Марина Владимировна. Совершенствование технологии сооружения плитных фундаментов вертикальных стальных резервуаров: диссертация на соискание ученой степени кандидата Технических наук: 25.00.19 / Терентьева Марина Владимировна. – Уфа,2019. – 186 с.
14. Швырков С. А., Горячев С. А., Сорокоумов В. П., Батманов С. В., Воробьёв В. В. Статистика квазимгновенных разрушений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. 2007. №6. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/statistika-kvazimgnovennyh-razrusheniy-rezervuarov-dlya-hraneniya-nefti-i-nefteproduktov (дата обращения 01.05.2026)

УДК 004.9
004.92: Прикладные информационные (компьютерные) технологии. Компьютерная графика

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И РАЗВИТИЯ ОБЛАКОВ ТОЧЕК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Струлев Сергей Александрович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», старший преподаватель кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
e-mail: wolk231184@mail.ru

Кузнецова Анна Петровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: kuznetsova2002tmb.ru@gmail.com

Развитие технологий лазерного сканирования и фотограмметрии привело к широкому распространению облаков точек (ОТ) в строительстве. На современном этапе развития ОТ используются для решения целого ряда практических задач от создания исполнительной документации, интегрированной с ТИМ-моделями, до контроля соответствия выполненных работ проектным решениям и мониторинга строящихся и существующих объектов. Отдельно следует отметить широкое применения данной технологии при проведении обмерных работ в рамках реконструкции и ремонта существующих зданий и сооружений.

Современные технологии 3-Д сканирования позволяют получать пространственные данные с плотностью до сотен миллионов точек на небольшой участок. При этом объемы данных растут экспоненциально:

- наземное лазерное сканирование (НЛС) – до 2 млн. точек/сек;
- мобильное сканирование (МЛС) – сотни млн точек на километр маршрута;
- воздушное сканирование (ВЛС) – покрытие десятков квадратных километров за полёт.

Все это создает потребность в эффективных программных решениях для обработки, анализа и визуализации таких массивов данных [1, 2].

В данной работе выполнен сравнительный анализ доступности и функциональных возможностей нескольких представленных на рынке решений с целью оценки целесообразности их применения для решения практических задач в области строительства. При этом для сравнительного анализа были выбраны следующие основные критерии:

- количество поддерживаемых форматов данных (LAS, LAZ, E57, PTS и др.);
- возможность применения инструментов фильтрации и очистки данных [3];
- возможности по сегментации и классификации точек;
- наличие инструментов измерения и анализа геометрии;
- возможности по интеграции с CAD/BIM-системами.
- возможности по автоматизации обработки данных проанализирован при помощи функционального анализа [4];
- оценка производительности на больших массивах данных.
- стоимость лицензии и доступность.

При оценке каждого программного комплекса по указанным критериям производился функциональный анализ самого продукта, заявленных на сайтах разработчиков функциональных возможностей и коммерческих предложений и стоимостных показателей в рамках анализа общедоступной информации с рынка по продаже программного обеспечения. При изучении стоимостных показателей не учитывались специальные предложения, скидки и акции, ввиду чего приведенные значения могут отличаться от реальных.

Отдельное внимание было уделено оценке производительности. С этой целью выполнен натурный эксперимент по загрузке и первичной обработке одного и того же массива облаков точек различными программными комплексами. В процессе исследования фиксировалось время, затрачиваемое на загрузку данных, а также возникающие сбои и ошибки. Так как работы во всех выбранных продуктах производились на одном и том же аппаратном обеспечении, можно предположить, что различие во временных показателях обусловлено программными настройками, внутренними возможностями по оптимизации вычислительных процессов и потоков данных.

В работе рассмотрены следующие программные комплексы: Autodesk ReCap, CloudCompare, Blender, FreeCAD (верстак Points), nanoCAD ReClouds. Выбор данных продуктов обусловлен прежде всего их широким распространением в практической сфере в области строительства на текущий момент.

Таблица 1

Сравнительный анализ функциональности программных комплексов в сфере обработки облаков точек

Программа	Autodesk ReCap	CloudCompare	Blender	FreeCAD (верстак Points)	nanoCAD ReClouds
Поддерживаемые форматы	RCS, RCP, E57, LAS, LAZ и др.	BIN, SBF, ASCII, VTK, STL, E57, LAS, LAZ, PCD, SHP, PTX, FLS/FWS, DP, RDB/RDBX/RDS, PSZ и др/	Только PLY (для импорта требуется преобразование данных)	Импорт и экспорт облаков точек в различных форматах	LAS, PTS, PTX, PCD, XYZ, E57, PLY, RCS/RCP
Инструменты для фильтрации и очистки данных	Удаление шума, лишних объектов, выделение интересующих областей с помощью инструментов сечения и маскирования	Продвинутые инструменты фильтрации: шумоподавление, удаление выбросов, локальная статистическая фильтрация	Базовые возможности фильтрации при импорте (удаление неклассифицированных точек)	Инструменты для вырезания точек из облака	Прореживание облаков точек, настройка фильтров атрибутов и классов точек
Возможности по сегментации и классификации точек	Автоматическая классификация данных (например, земля, растительность, здания)	Сегментация есть, классификация есть как ручная, так и автоматическая	Нет встроенных инструментов сегментации и классификации	Базовая сегментация через инструменты вырезания и слияния	Автоматическая классификация точек (например, трубопровод, рельеф, растительность) по заданным критериям
Инструменты измерения и анализа геометрии	Измерение расстояний, углов, площадей; создание сечений облака точек	Вычисление расстояний, статистики (пространственный критерий Хи-квадрат), геометрических характеристик	Базовые измерения через инструменты 3D-вьюпорта	Измерение расстояний и углов через инструменты верстака	Вычисление площадей и объёмов, поиск геометрических коллизий, сравнение облаков точек или облака с моделью
Интеграции с CAD/BIM системами.	Экспорт в продукты Autodesk и другие системы через связь по технологии LiveSync или в виде файла RCP	Экспорт в форматы, совместимые с CAD-системами (STL, OBJ), но прямой интеграции нет	Импорт в CAD-системы через экспорт в форматы STL, OBJ и др.	Интеграция с другими модулями FreeCAD	Интеграция с САПР-платформой nanoCAD, создание единой инженерной экосистемы
Возможности по автоматизации обработки данных	API для автоматизации рабочих процессов	Пакетная обработка; командная строка; макросы и история команд; поддержка плагинов для расширения функциональности	Автоматизация через скрипты на Python и Geometry Nodes	Автоматизация через Python-скрипты	Открытый API-интерфейс для создания уникальных инструментов и автоматизации рабочих процессов
Производительность	Работает с миллиардами точек, поддерживает многопоточную обработку	до 90 млн точек на 1 ГБ памяти	Ограниченная при работе с очень большими облаками точек	Не оптимизирован для работы с очень большими данными	Оптимизирован для работы с большими объёмами данных, поддержка спецконфигураций

В таблице 1 приведен сравнительный анализ рассматриваемых программных комплексов по всем выбранным критерия, кроме производительности и стоимостных показателе.

Отдельно следует отметить, что Autodesk ReCap обладает возможностью не только обработки облаков точек, но и фотограмметрии (проведение измерений и получение 3D моделей по фотографии) и отличается высокой совместимостью с популярными CAD и BIM решениями. Особенностью данного программного обеспечения является то, что оно существует в двух версиях: ReCap Pro (полнофункциональное десктопное приложение) и ReCap Photo (облачная платформа для создания 3D-моделей по фотографиям). Обе версии локализованы на русском языке и свободно интегрируются с другими продуктами линейки Autodesk (Revit, Civil 3D, AutoCAD). Однако, в последние годы существуют трудности с приобретением лицензий ввиду ухода вендера с российского рынка.

Программный комплекс (ПК) CloudCompare – это продукт с открытым исходным кодом для обработки облаков 3D-точек, треугольных сеток и калиброванных изображений, что обеспечивает возможности по его глубокой интеграции в производственные цепочки, точной донастройке и доработке при наличии определенных возможностей и навыков в сфере программирования. Из недостатков можно дополнительно отметить повышенные требования к уровню компетенций пользователя, что повышает порог вхождения и затраты на обучение персонала.

ПК Blender поддерживает работу с облаками точек, но это не его основная функция. Как следствие ограниченный функционал, высокая ресурсоемкость и требования по наличию у пользователя навыков по работе в ПК Geometry Nodes и Shader Nodes для продвинутой обработки данных.

Аналогичные проблемы и у ПК FreeCAD. Это открытое многофункциональное ПО для 3D-моделирования, включающее верстак Points для работы с облаками точек. К тому же на данный момент продукт еще находится на стадии разработки. Все это отражается на функциональных возможностях данного решения, которые значительно уступают специализированным конкурирующим ПО.

Таблица 2

Сравнение и рекомендации по применению рассмотренного программного обеспечения

Программа	Специализация	Сильные стороны	Ограничения
Autodesk ReCap	Обработка облаков точек для BIM/CAD-систем	Интеграция с продуктами Autodesk, поддержка широкого спектра сканеров, инструменты для подготовки данных для проектирования	Требует лицензии, ориентировано на экосистему Autodesk
CloudCompare	Анализ и обработка 3D-данных	Открытый исходный код, широкий набор инструментов, поддержка множества форматов	Крутая кривая обучения, ресурсоёмкость
Blender	3D-моделирование и рендеринг	Гибкость в визуализации, работа с Geometry Nodes	Не специализирован для обработки облаков точек, сложности с большими объёмами данных
FreeCAD (Points)	Техническое моделирование	Открытый код, базовые инструменты для работы с облаками точек	Ограниченная функциональность, верстак в стадии разработки
nanoCAD ReClouds	Инженерные и информационные задачи с данными сканирования	Российский продукт, интеграция с nanoCAD, широкий набор инструментов для классификации и анализа	Требует платформы nanoCAD, может быть менее известен на международном рынке

К основным достоинствам ПК nanoCAD ReClouds следует отнести открытый API и то, что этот продукт включён в Единый реестр российских программ для ЭВМ и БД. Открытый API обеспечивает возможности по глубокому внедрению и широкой настройке инструментальных и иных возможностей

под задачи конкретного пользователя. В свою очередь включение в реестр гарантирует доступность ПО и поддержку вендера со стороны правительства, что может обеспечить ускоренное развитие продукта в перспективе.

На основе полученных данных можно сделать промежуточный вывод. Основные рекомендации приведены в таблице 2, где приведены сильные стороны, ограничения и специализации рассмотренных программных комплексов.

Проанализировав теоретическую часть, можно сделать промежуточные выводы. Для интеграции с BIM-процессами и работы в экосистеме Autodesk при решении типовых задач лучше всего подойдёт Autodesk ReCap [5]. Однако, для глубокого анализа и обработки 3D-данных с открытым кодом предпочтительнее выглядит программный комплекс CloudCompare. При необходимости визуализация и рендеринг облаков точек в составе 3D-сцен лучше всего ориентироваться на Blender. FreeCAD (Points) можно рекомендовать для базовых задач и начинающих пользователей, а nanoCAD ReClouds для работы в отечественных программных экосистемах [6].

Сравнение стоимостных показателей и доступности использования различного ПО по открытым данным с рынка приведено в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение ценового диапазона и доступности разного ПО.

Программа	Цена	Доступность
Autodesk ReCap	Платная (подписка Autodesk) 405$ на 1 год (29 519р.); есть бесплатная версия с ограничениями	Windows; требуется регистрация и аккаунт Autodesk
CloudCompare	Бесплатно (открытый исходный код)	Windows, Linux, macOS; загрузка с официального сайта без регистрации
Blender (с дополнениями для работы с точками)	Бесплатно (открытый исходный код)	Windows, Linux, macOS; загрузка с blender.org без регистрации
FreeCAD (верстак Points)	Бесплатно (открытый исходный код)	Windows, Linux, macOS; загрузка с freecad.org без регистрации
nanoCAD ReClouds	Платная (лицензия nanoCAD) 225 600р.в год; возможны пробные периоды	Windows; требуется регистрация и лицензия nanoCAD

Из таблицы видно, что наиболее доступным является программное обеспечение CloudCompare, Blender, FreeCAD (верстак Points). Autodesk ReCap заметно дешевле nanoCAD ReClouds , но с 2023 года Autodesk приостановил продажи в России, в связи с этим возникают определенные сложности в приобретении лицензии. Существуют легальные способы приобретения лицензий через авторизованных партнёров и проверенные платформы. Некоторые компании в России являются авторизованными партнёрами Autodesk и могут предоставлять лицензии на программное обеспечение. Например, компания «Датасистем». Но при анализе этого и других сайтах модуль ReCap найден не был. В связи с этой ситуацией для использования данного оборудования необходимо арендовать сервера или компьютер в других странах, где Autodesk ReCap доступен.

При экспериментальной оценке производительности использовалось тестовое облако точек с количеством данных, занимающих на жестком диске компьютера 4,29 ГБ. Тестирование проводилось для всех рассмотренных программных решений на одном и том же аппаратном обеспечении со следующими основными характеристиками процессор - Intel(R) Core(TM) i3-10105 CPU @ 3.70GHz 3.70 GHz, оперативная память – 16 ГБ, видеоадаптер - Intel(R) UHD Graphics 630 (128 MB), память - 466 GB SSD WD Blue SN570 500GB, тип системы - 64-разрядная операционная система, процессор и т.д.) Для оценки производительности ПО было принято решение использовать типовую операцию импорта данных. Результаты тестового импорта приведены ниже на рисунке 1.

Из рисунка 1 и представленной таблицы видно, что наиболее быстродействующим программным обеспечением является Autodesk ReCap. В программном обеспечении CloudCompare чтобы просто увидеть данные пришлось ждать более двух часов. Однако, и этот результат нельзя считать окончательным, так как ПО «зависло» и работа с данным облаком стала невозможна (рис.2а).

С Blender произошла похожая ситуация, только время ожидания превысило 4 часа. FreeCAD (Points) выдало ошибку: «в файле содержится слишком много элементов» (рис. 2б). Таким образом для

этого программного комплекса результаты пробного тестирования тоже можно считать неудовлетворительными.

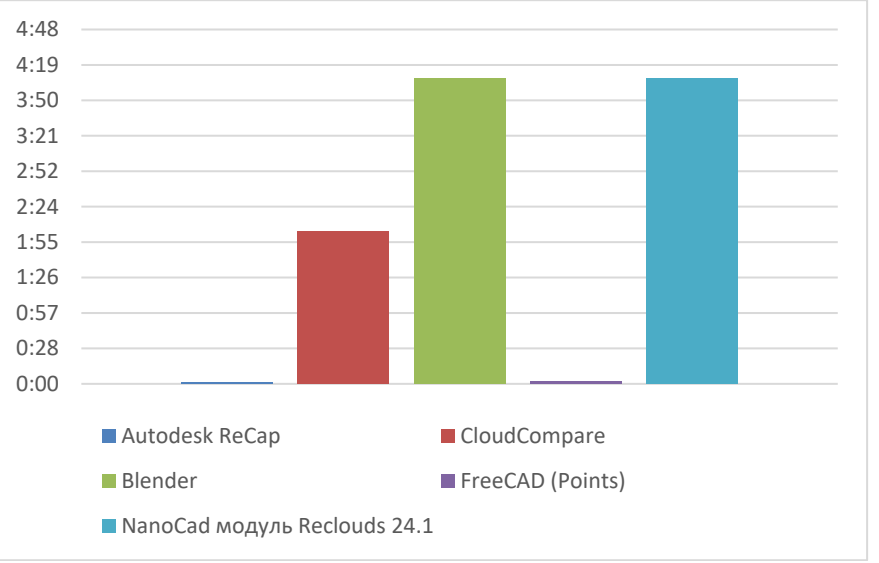


Рисунок 1 – Зависимость времени импорта от программного обеспечения.

На основании результатов выполненных исследований установлено, что программное обеспечение CloudCompare, Blender и FreeCAD (Points) не удовлетворяет требованиям для обработки тестового облака точек на имеющемся вычислительном оборудовании (ПК).

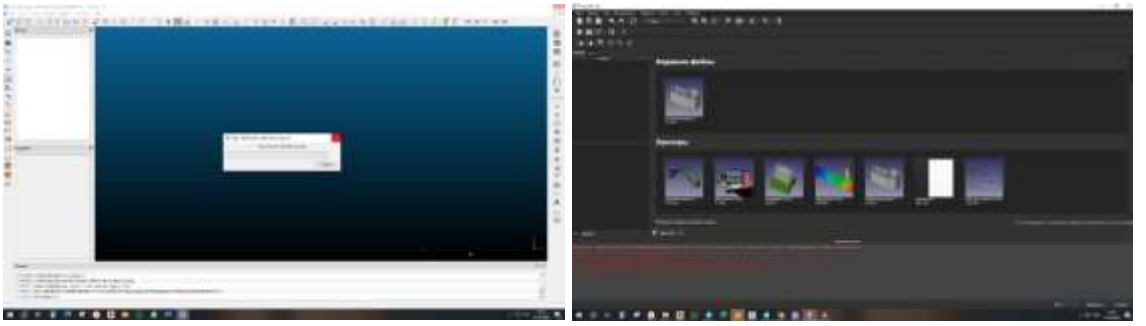


Рисунок 2 - Скриншот экрана с сообщением об ошибке: а) в ПО CloudCompare; б) в ПО FreeCAD (Points)

Результаты эксперимента не характеризуют исследуемые программные средства с негативной стороны. Возникшие трудности могут быть обусловлены комбинацией факторов: высокой сложностью входных данных (плотное облако точек) и ограниченными ресурсами используемой вычислительной системы. Модификация входных параметров или использование более производительного оборудования, возможно, позволит достичь ожидаемого результата.

При работе с имеющимися исходными данными оптимальным выбором программного обеспечения могут стать Autodesk ReCap или NanoCad (модуль Reclouds 24.1). Также целесообразно изучить другие программные продукты, не проанализированные в данной работе, на предмет целесообразности их использования при решении тестовой задачи или реальных практических задач, аналогичных ей.

Список использованных источников

1. Анисимов, А. В. Технологии лазерного сканирования в геодезии и картографии: учебное пособие / А. В. Анисимов. — СПб.: Политехника, 2020. — 184 с.;

2. Баранников, М. И. Цифровая обработка облаков точек: методы и алгоритмы / М. И. Баранников, С. В. Комаров. — М.: МИИГАиК, 2021. — 168 с.

3. Крючкова Т.Н., Ефимов А.И. Совмещение трёхмерных облаков точек. Итеративный алгоритм ближайших точек // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2023. — № 11. — С. 203–209.

4. Чибуничев А.Г., Михайлов А.П., Старшов В.В. Автоматическое построение плотного облака точек по множеству снимков на основе полуглобального метода отождествления соответствующих точек // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. — 2015. — № 2. — С. 14–18.

5. Матвеев К.В. Моделирование инженерных систем по облаку точек // Наука и молодёжь: материалы XVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. — Барнаул, 2021. — С. 95–97.

6. Логвинва Н.С. Технология создания модели здания по облаку точек в Revit Architecture на примере ГУЗа // Digital. — 2023. — Т. 4, № 1. — С. 48–51.

УДК 620.173.2
67.09.33 Бетоны. Железобетон. Строительные растворы, смеси, составы

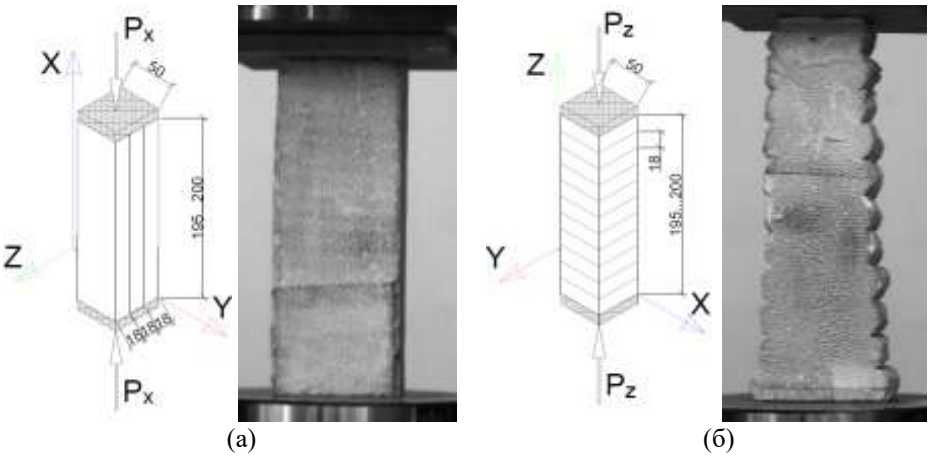
МЕХАНИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ 3D-ПЕЧАТНОГО КОМПОЗИТА ПРИ СЖАТИИ

Левченко Артем Владимирович
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Строительных конструкций оснований и фундаментов им. проф. Ю.М. Борисова»
e-mail: alevchenko@cchgeu.ru

Алджанаби Шрф Аль Дин Хуссейн Оливи
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», аспирант
e-mail: sharaf.aljanabi@yandex.com

Каракчи-Огли Давут Ресулович
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», младший научный сотрудник НОАЦ строительного материаловедения
e-mail: karakchiogli.david@mail.ru

3D-печатные композиты – это материалы, состоящие из нескольких слоев, "склеенных" вместе. В отличие от монолитных образцов, их структура включает "холодный шов" – границу между слоями – что влияет на прочность и поведение материала под нагрузкой. Механические испытания вдоль возможных осей нагрузки необходимы для понимания поведения такого композита в реальной конструкции. Как отмечено в работе [1], для подтверждения ортотропии материала (разные свойства в разных направлениях) необходимо проводить испытания по специальным схемам, приведенным ниже на рисунке 1. Размеры образцов соответствуют рекомендациям [2].



(а) (б)

Рисунок 1 – Схемы и фото испытаний на прочность образцов 3D-композита: (а) испытание на сжатие вдоль слоев (ось X), (б) испытание на сжатие поперек слоев (ось Z).

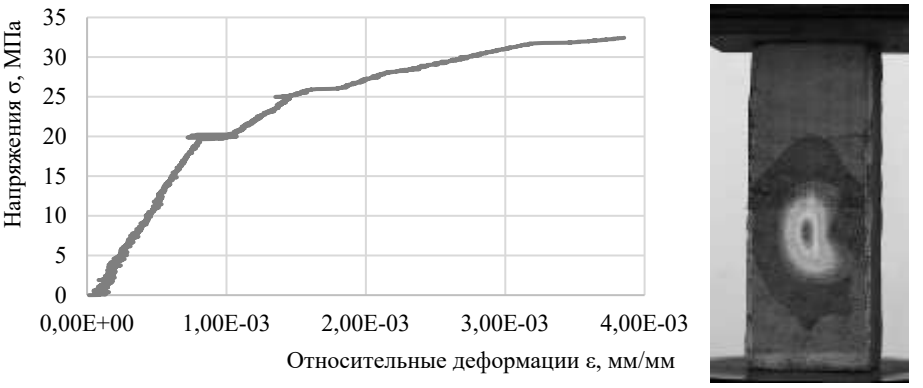


Рисунок 2 – Диаграмма деформирования и общий вид распределения напряжений на поверхности образцов при сжатии вдоль слоев (ось X).

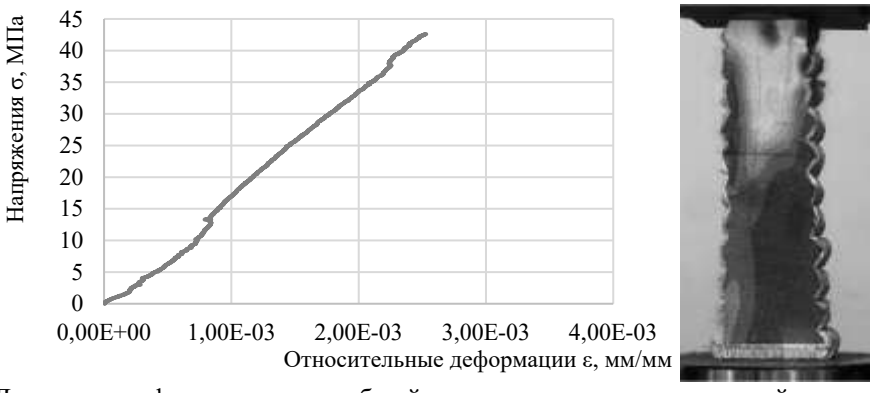


Рисунок 3 – Диаграмма деформирования и общий вид распределения напряжений на поверхности образцов при сжатии поперек слоев (ось Z).

При испытании образцов на сжатие использовался метод анализа цифровых изображений перемещений и деформаций, полученных с помощью бесконтактной системы измерения XTDIC-CONST-HS, по результатам обработки данных строились диаграммы деформирования рисунки 2 и 3.

Согласно анализу данных приведенных на рисунках 2 и 3 можно наблюдать различия в характере деформирования и разрушения образцов при испытаниях вдоль и поперек печатных слоев. Сжатие 3D-композита вдоль слоев сопровождается концентрацией напряжений на их границе в центре образца, а разрушение сопровождается процессом расслоения. В результате на диаграмме деформирования фиксируется некоторое плато деформаций (рисунок 2). Сжатие 3D-композита поперек слоев сопровождается концентрацией напряжений в верхней зоне образца, а разрушение происходит в результате образования вертикальных трещин, без преломления их на границе слоев. Полученная диаграмма деформирования (рисунок 3) свидетельствует о более хрупком характере разрушения. Таким образом на основании испытания контрольных образцов были установлены следующие механические характеристики ортотропного тела (таблица 1).

Таблица 1

Механические характеристики

Параметр	Значение	Ед. изм.	Параметр	Значение	Ед. изм.
R_x	33,55	МПа	E_z	20500	МПа
R_z	36,59	МПа	υ_{xz}	0,31	
E_x	31800	МПа	υ_{yx}	0,16	

Из таблицы 1 видно, что исследуемый слоистый композит обладает ярко выраженными ортотропными свойствами. Значения прочности в направлении оси X (R_x = 33,55 МПа) несколько ниже соответствующих значений в направлении оси Z (R_z = 36,59 МПа). Эта разница обусловлена наличием "холодного шва" между слоями, который повышает деформативность материала в поперечном направлении, что хорошо проявляется при анализе значений коэффициентов Пуассона υ_{xz} = 0,31 (вдоль слоев) и υ_{yx} = 0,16 (поперек). При этом важно отметить, что начальный модуль упругости испытываемого композита вдоль слоев несколько выше E_x = 31800 МПа против E_z = 20500 МПа, что, в свою очередь, говорит о

повышенной жесткости при восприятии нагрузки с таким расположением слоев.

Таким образом авторами определен ряд параметров, характеризующих слоистый 3D-печатный бетон как ортотропный материал. Важно отметить, что авторами проведен анализ не только прочностных характеристик, но и деформативных, таких как начальный модуль упругости и коэффициент Пуассона, что позволило продемонстрировать не только разницу прочности слоистых композитов, но и отличие в характере деформирования данного материала под нагрузкой.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-19-00280-П, https://rscf.ru/project/22-19-00280/.

Список использованных источников

1. Hoffarth, C., Rajan, S., Goldberg, R. K., et al. Implementation and validation of a three-dimensional plasticity-based deformation model for orthotropic composites. – Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 90, 2016. – P. 210-223.
2. ГОСТ 24452-2023. Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – М.: Институт стандартизации, 2024. – 12 с.

УДК 69.07
67.11.35: Металлические конструкции

ВОПРОСЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СТАЛЬНЫХ РАМ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

Маркин Игорь Анатольевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: igormarkin09@gmail.com

Умнова Ольга Владимировна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
e-mail: pf166@yandex.ru

Введение. Влияние грунтового основания на НДС надземной рамной конструкции является в большинстве случаев весьма существенным, так как перемещения и повороты фундаментов несколько изменяют геометрию расчётной схемы надземной конструкции и оказывают влияние на распределение напряжений в элементах рамы и в грунте. Следовательно, расчёт рамы отдельно от основания может привести к неточностям в расчетах и работе конструкции в условиях эксплуатации. Авторы данной работы предлагают обзор основных научных работ, в которых исследовалась совместная работа стальных рам с грунтовым основанием.

Наиболее ранней работой по данной тематике является [1]. В ней Е.И. Беленя и Л.В. Клепиков приводят наблюдения за реальным промышленным зданием с металлическим каркасом, численные исследования П-образной рамы на сжимаемом основании, экспериментальные исследования совместной работы с основанием колонны. При разных вариантах закрепления верхнего конца колонны (свободный, податливое закрепление, шарнир), было выявлено изменение положения центра поворота фундамента и эпюр давления под подошвой фундамента, отмечено и описано изменение напряжений под подошвой и перемещений фундамента при снятии нагрузки, указывается на необходимость учёта податливости основания при расчёте. Были замечены следующие особенности работы конструкции по сравнению с расчётной моделью данного каркаса без учёта податливости основания: при вертикальной нагрузке − снижение напряжений в колонне, при крановой нагрузке − увеличение момента в уровне базы колонны и уменьшение в уровне ригеля; при горизонтальной нагрузке – увеличение момента в крайних колоннах и в ригеле, уменьшение в средней колонне.

По результатам исследований Е.И. Беленя и Л.В. Клепиков [1] особо указывают на необходимость

учёта податливости основания при расчёте. Предлагается производить расчёт рамы и фундамента из условия ограничения влияния сжимаемости основания на несущую способность и деформации рамы, приводятся рекомендации по уменьшению влияния сжимаемости основания на НДС рамы и фундамента. Например, предлагается располагать фундамент с некоторым эксцентриситетом относительно базы колонны с целью изменить значения момента в процессе дальнейшей эксплуатации здания.

Рассмотрим экспериментальные исследования, проведённые в диссертационных работах [2] и [3]. Варечкиным С.А. и Кузнецовым И.Н. В данных исследованиях рассматривались модели рамы пролётом 1,2 м и высотой 2 м замкнутого профиля из уголков. В работе Варечкина С.А. [2] основное внимание уделяется податливости основания и узлов сопряжения колонны с ригелем.

Основные результаты работы [2]:

- повторное нагружение вызывает накопление остаточных деформаций основания;
- узел сопряжения ригеля с колонной обладает определённой податливостью;
- учёт податливости основания и узлов сопряжения колонны с ригелем приводит к снижению моментов в колонне и увеличению моментов в ригеле;
- повторное горизонтальное нагружение снижает общую жёсткость системы рама-фундамент-основание.

В работе Кузнецова И.Н. [3] основное внимание уделяется влиянию дефектов основания на НДС рамы. Автором были получены значения моментов и перемещений рамы, перемещения фундаментов, вычислены поправочные коэффициенты для применения результатов исследования в расчетах реальных конструкций.

В совместной работе автора данной статьи и Евдокимцева О.В. [4] рассмотрены и приведены численные исследования шарнирно опёртой стальной рамы переменного двутаврового сечения пролётом 24 м с 2-я вариантами модели основания: односторонние связи конечной жёсткости и упругое полупространство Для моделирования использовался программный комплекс SCAD Office. В ходе работы были получены коэффициенты для учета податливости основания при расчёте напряжений, деформаций и для анализа устойчивости элементов сечения и общей устойчивости рамы. Авторы указывают на тот факт, что при расчёте подобных конструкций шарнирное сопряжение колонны с фундаментом фактически является узлом конечной жёсткости, что выражается в появлении изгибающего момента в уровне базы колонны.

Численные исследования с применением SCAD Office совместной работы рамы переменного сечения с основанием также проводились О. В. Евдокимцевым и Т. В. Лоскутовой [5]. И в этой работе отмечалась необходимость учёта основания при расчете стальных рам на сжимаемом основании ввиду влияния его податливости на НДС рамы.

Деформированное состояние плоских стальных и сталежелезобетонных рам при совместной работе с грунтовым основанием рассматривали И. М. Гаранжа, Д. Р. Сахибгареева и И. В. Танасогло [6]. Авторы проводили численное моделирование стальных рам с колоннами замкнутого пустотелого трубчатого сечения и трубобетонных (сталебетонных). Основание моделировалось как упругое полупространство. Грунты были представлены в 2-х вариантах: песчаный и глинистый грунт. По результатам расчетов отмечалась более высокая изгибная жёсткость сталебетонных колонн и, как следствие, меньшая их деформативность.

В работе [7] была рассмотрена совместная работа стальной П-образной рамы постоянного сечения замкнутого профиля из уголков с армированным основанием. В качестве армирующего элемента использовалась сетка из арматуры В500. Было выявлено снижение вертикальных перемещений фундаментов, однако, горизонтальное смещение и поворот изменились незначительно.

Резюмируя вышесказанное по вопросу совместной работы стальных рам и колонн с основанием сделано:

- проведены экспериментальные исследования колонн с основанием в зависимости от способа закрепления верхнего конца колонны;
- проведены экспериментальные и теоретические исследования П-образной рамы на сжимаемом основании, экспериментальные исследования совместной работы с основанием колонны при разных вариантах закрепления верхнего конца колонны для промышленных зданий с мостовыми кранами;
- проведены экспериментальные исследования моделей П-образных рам постоянного сечения на песчаном основании с учётом податливости узла сопряжения ригеля с колонной и при наличии дефектов основания;
- выполнены численные исследования работы рамы переменного сечения с шарнирным опиранием в случае одиночной рамы и для системы рам;
- экспериментально исследована работа фундамента на армированном основании в составе системы рама-фундамент-армированное основание.

По вышеуказанным пунктам можно сделать определённые выводы:

1. Для рам постоянного сечения требуется поиск методов ограничения снижения общей жёсткости

конструкции, на которое указывается в работе [2]. Более детальное исследование при их совместной работе с армированным основанием, возможно приведет к положительному результату как при постоянных, так и при знакопеременных нагрузках. Такой подход возможен и для рам с переменным сечением по высоте.

2. Для рам с шарнирным опиранием на фундамент интересен вопрос о действительной работе опорного узла. Как отмечалось в [4] в уровне базы в виду поворота и перемещения фундамента работа узла не является абсолютно шарнирной, что доказано появлением изгибающего момента.

3. При компьютерном моделировании во всех исследованиях использовалась либо уменьшенная натурная модель, либо численная модель в программе SCAD Office. При этом в численных моделях рассматривалось основание в виде упругого полупространства или в виде односторонних упругих связей. Интерес могут представлять модели, в которых реализована работа деформируемого основания, описанная Клепиковым С.Н. [8]. В данном случае поверхность грунта деформируется при давлении на неё тела фундамента, а при движении фундамента в обратом направлении в случае изменения знака нагрузки часть поверхности фундамента отрывается от поверхности грунта. Такая модель значительно труднее реализуется в плане расчёта, однако позволяет более адекватно моделировать знакопеременные нагрузки.

Список использованных источников

1. Беленя, Е.И. Исследование совместной работы оснований, фундаментов и поперечных рам стальных каркасов промышленных зданий [Текст] / Е.И. Беленя, Л.В. Клепиков // Научное сообщение. – М., 1957. – Вып.28. – 58 с.
2. Варечкин С.А. Исследование совместной работы п-образных стальных рам с песчаным основанием: Автореф. дис… канд. техн. наук: Воронеж, 2004. – 20 с.
3. Кузнецов И.Н. Напряженно-деформированное состояние стальных п-образных рам при наличии дефектов основания: Автореф. дис... канд. техн. наук: Воронеж, 2009. - 19 с.
4. Евдокимцев О.В. Исследование влияния податливости основания на НДС стальных рам переменного сечения на основе компьютерного моделирования / И.А. Маркин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы X-й Международной научнопрактической конференции, посвященной 45-летию Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. Тамбов, 2024. С. 131-135.
5. Евдокимцев, О. В. Напряженно-деформированное состояние стальных рам переменного сечения на сжимаемом основании / О. В. Евдокимцев, Т. В. Лоскутова // Достижения ученых XXI века. – 2009. – № 7. – С. 129-130.
6. Гаранжа, И. М. Деформированное состояние плоских стальных и сталежелезобетонных рам при совместной работе с грунтовым основанием / И. М. Гаранжа, Д. Р. Сахибгареева, И. В. Танасогло // Металлические конструкции. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 89-97.
7. Козлов, А. А. Экспериментальное исследование влияния армирования однослойного массива грунта на совместную работу стальной П-образной рамы с песчаным основанием / А. А. Козлов, Ю. А. Козлова, В. М. Антонов // Научный альманах. – 2016. – № 4-3(18). – С. 101-104.
8. Клепиков С.Н. Расчёт сооружений на деформируемом основании. – К.: НИИСК, 1996.

УДК 69.033.6
67.03.03 Теория расчёта сооружений и конструкций

УЧЁТ ПОПРАВКИ НА МОКРЫЙ ПЕСЧАНЫЙ ГРУНТ В РАСЧЁТЕ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ

Россоль Даниил Юрьевич,
Петербургский государственный университет путей сообщения Александра I, аспирант,
e-mail: danyasavelev28@yandex.ru

Аннотация. В работе анализируются физико-механические изменения мокрого песка, методы их учёта в проектировании и реальные примеры аварий, вызванных недооценкой влажности. Анализируются ключевые примеры разрушений в России и за рубежом, чтобы выявить общие закономерности и предложить меры по предотвращению аварий. Изучается территориальное зонирование песчаных грунтов, оценка их инженерно-геологических характеристик и разработка практических рекомендаций для устойчивого строительства.

Ключевые слова: Подпорные стены, песчаные грунты, математическое моделирование, расчёт подпорных стен, разрушения, территориальное зонирование.

Введение

Песчаные грунты, распространённые в прибрежных зонах, долинах рек, кардинально меняют свои свойства при насыщении влагой. Поправка на мокрый песчаный грунт – это комплекс корректировок в строительных расчётах и технологиях, учитывающих изменение физико-механических свойств песка при насыщении водой. Это критически важный элемент расчётов, учитывающий увеличение объёмного веса, снижение угла внутреннего трения и риск разжижения [6]. Данные изменения влияют на устойчивость грунта, объем земляных работ, выбор типа фундамента и методы уплотнения. Игнорирование этих факторов может привести к катастрофическим последствиям, таким как обрушение подпорных стен или просадка фундаментов.

Строительство на песчаных грунтах всегда сопряжено с повышенными рисками. Их неоднородность, обусловленная различиями в гранулометрическом составе, влажности и глубине залегания, требует тщательного анализа для минимизации рисков при проектировании инфраструктуры [5]. Низкая связность частиц, высокая водопроницаемость и склонность к разжижению при динамических нагрузках делают эти грунты особенно уязвимыми. Однако их некорректное проектирование или эксплуатация могут усугубить ситуацию.

Учёт поправки на мокрый песчаный грунт в геотехнических расчётах

При насыщении водой песчаный грунт претерпевает значительные трансформации. Во-первых, увеличивается его объёмный вес: если сухой песок имеет плотность 16–18 кН/м³, то мокрый достигает 19–21 кН/м³ за счёт заполнения пор водой. Во-вторых, снижается угол внутреннего трения — ключевой параметр, определяющий устойчивость грунта к сдвигу. Например, для крупнозернистого песка угол ϕ может уменьшиться с 35° до 28°, что повышает активное давление на подпорные стены на 20–30% [1].

Наиболее опасным явлением становится разжижение - потеря несущей способности при динамических нагрузках. Это происходит, когда вода в порах грунта создаёт избыточное давление, разрушающее контакты между частицами. Классический пример - землетрясение в Ниигате (Япония, 1964 г.), где кварталы «поплыли» на водонасыщенных песках. Учёт поправки на мокрый песчаный грунт требует корректировки всех этапов расчёта. Например, в Санкт-Петербурге, где уровень грунтовых вод у поверхности, давление на конструкцию увеличивается в 2.5 раза, как показано в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Сухой песок	Мокрый песок
Угол внутреннего трения	35°	28°
Объемный вес, кН/м³	17	21
Активное давление, кН/м	57.4	129.0

Основные методы учета поправки включают:

1. Введение взвешенного удельного веса ($\gamma' = \gamma_{\text{насыщенный}} - \gamma_{\text{воды}}$). (1)
2. Добавление гидростатического давления ($P_{\text{воды}} = \gamma_w \cdot h$). (2)
3. Корректировку коэффициента активного давления (K_a) с учётом снижения ϕ. (3)

Нормативные документы, такие как [6] и [7], строго регламентируют учёт влажности:

- Обязательный анализ уровня грунтовых вод.
- Проверка на разжижение в сейсмических зонах.
- Использование геосинтетиков для армирования грунта [2].
- Рекомендации и современные решения
- Для минимизации рисков рекомендуется:
- Устройство дренажных систем с геотекстилем, снижающих гидростатическое давление [3].
- Применение виброуплотнения или цементации для повышения плотности мокрого песка [4].
- Внедрение «умных» подпорных стен с датчиками давления и влажности.

Современная практика требует комплексного подхода. В сейсмически активных регионах, таких как Япония или Калифорния, подпорные стены проектируют с учётом динамических нагрузок. Для этого используют методы конечных элементов (МКЭ) в программах типа Plaxis, моделируя поведение грунта при землетрясениях [1]. В Сан-Франциско после обрушения эстакады в 1989 году стали применять стены с анкерным креплением в скальные породы, что исключает риск разжижения. В России актуальны технологии армирования геосинтетиками. Например, при реконструкции склонов в Сочи георешетки сократили осадку на 40% [2]. Для мониторинга используют датчики давления и влажности, встроенные в стены, — такие системы предупредили аварию на стройке в Новосибирске в 2023 году, вовремя обнаружив рост давления в песчаном грунте.

Крупнозернистые пески (частицы 0.5–2 мм) доминируют в северных районах Санкт-Петербурга, например, в Выборгском и Приозерском районах, где их используют для устройства ленточных фундаментов. Среднезернистые пески (0.25–0.5 мм) распространены в центральной части области, включая окрестности Гатчины, а мелкозернистые и пылеватые разновидности (менее 0.1 мм) встречаются в заболоченных южных районах, таких как Кингисеппский район, где их несущая способность падает до 1.5 т/м² [5].

Ключевым параметром при зонировании является уровень грунтовых вод (УГВ). Например, в прибрежных районах Кронштадта УГВ часто находится на глубине всего 0.5–1 м, что приводит к переувлажнению грунтов и требует обязательного устройства дренажных систем [3]. В восточных районах, например, в Лодейнопольском, УГВ опускается ниже 3 м, обеспечивая стабильность песчаных массивов.

Глубина промерзания также варьируется: для песков она составляет 1.5 м, для суглинков — 1.4 м, а для глин — 1.1 м (согласно [3]). Это напрямую влияет на выбор фундаментов. Например, в посёлке Сосново (Приозерский район), где преобладают крупнозернистые пески, применяют ленточные фундаменты с заглублением на 1.2 м, тогда как в посёлке Лебяжье (Курортный район) из-за мелкозернистых водонасыщенных песков используют сваи длиной до 6 м.

Климатические условия, такие как высокая влажность (700–800 мм осадков в год) и морозы, усиливают риски эрозии и пучения. Например, в 2018 году в районе станции Мга зафиксированы деформации дорожного полотна из-за сезонного пучения мелкозернистых песков [5].

Математические моделирование консольной подпорной стены высотой 4,0 метра

Постановка задачи. Необходимо запроектировать консольную подпорную стенку высотой 4,0 м и выполнить расчёт в соответствии с EN 1997-1 (EC 7-1, Подход к проектированию 1) (Рисунок 1). Рельеф за сооружением горизонтальный. Уровень грунтовых вод залегает на глубине 2,0 м от поверхности. За стенкой приложена полосовая пригрузка длиной 5,0 м и интенсивностью 10 кН/м2. Основание сложено пылеватым песком (MS), допустимая несущая способность (Ro) 175 кПа. Грунт за стенкой представлен песком с включениями пылеватых частиц (S-F). Консольная подпорная стенка будет изготовлена из армированного бетона класса C 20/25 [4].

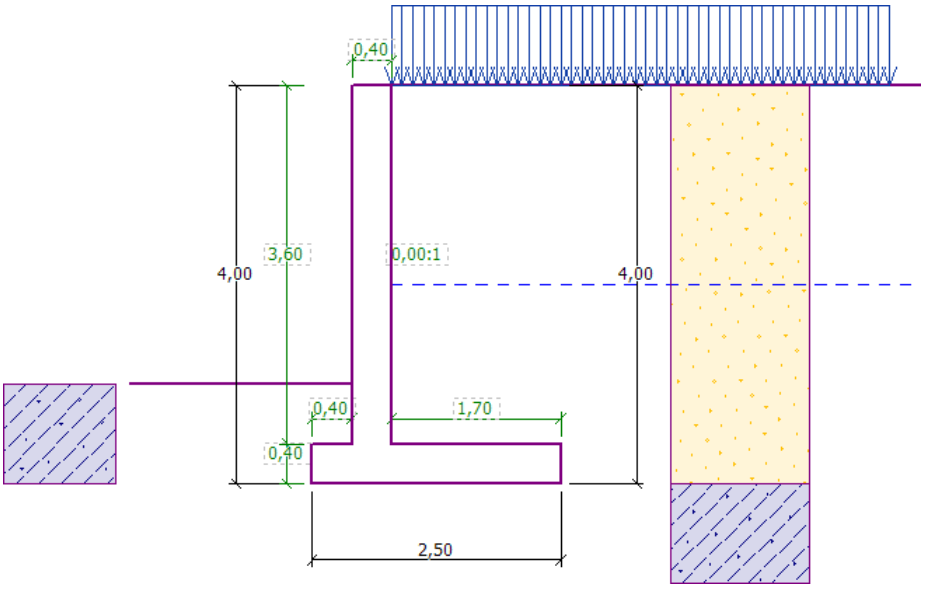


Рисунок 1 - Схема консольной подпорной стенки.

Механические параметры грунта принимаются согласно таблице 2 [1,3].

Таблица 2

Грунт	Мощность, m	Удельный вес, kN m3	Угол внутреннего трения, ef	Удельное сцепление, cef, kP	Угол внутреннего трения на контакте сооружения с грунтом	Удельный вес при полном водонасыщении, kN m3 sat
S-F	0,0 – 4,0	17,5	28,0	0,0	18,5	18,0
MS	от 4,0	18,0	26,5	30,0	17,5	18,5

Для решения задачи используется программа GEO5 «Уголковая стена».

Вначале во вкладке «Настройка» необходимо нажать кнопку «Выбрать настройки» и выбрать требуемые настройки расчета (EN 1997 - DA1). Далее следует перейти во вкладку «Грунты». Здесь вводятся параметры грунтов, путём нажатия кнопки «Добавить». Сначала добавляется слой грунта S-F, залегающий за стенкой. Далее добавляется слой MS, слагающий основание. Величина активного давления так же зависит от трения между конструкцией и грунтом. Угол трения зависит от материала сооружения и угла внутреннего трения грунта - принимается в диапазоне $\beta \approx \left(\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}\right) \times \varphi ef$ [1]. Далее во вкладке «Настройка этапа» необходимо выбрать расчётный случай (проектную ситуацию). В этом случае рассматриваются постоянные нагрузки. Так же следует выбрать давление, действующее на стенку. В этом случае следует выбрать активное давление, так как допускаются перемещения стенки. Далее во вкладке «Проверка» можно просмотреть результаты расчёта устойчивости и скольжения консольной стенки (Рисунок 2).

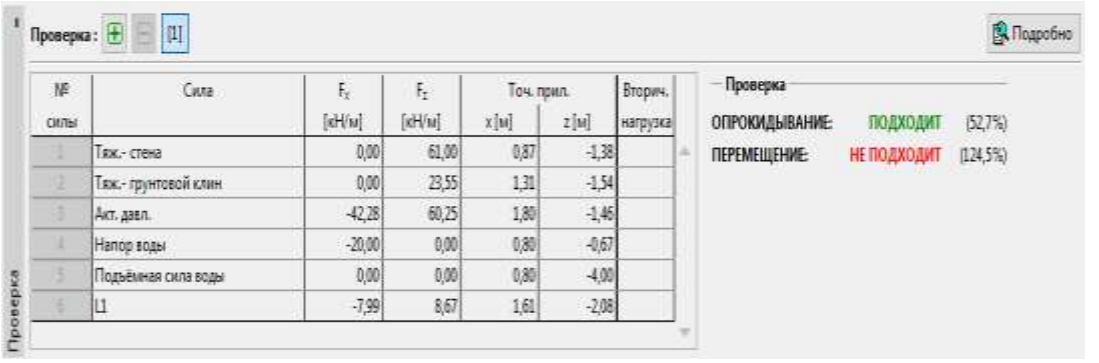


Рисунок 2 - Вкладка «Проверка» - результаты расчёта.

Результаты расчёта: Условие сопротивления скольжению не удовлетворяется. Конструкция работает следующим образом:

Опрокидывание: 52,7 % M_{res} = 208,17> M_{ovr} =109,75 [kHm/m] ПОДХОДИТ

Скольжение: 124,5 % H_{res} = 65,74 <H_{act} =81,83 [kHm/m] НЕ ПОДХОДИТ

Имеется несколько возможностей оптимизации проектного решения, например:

- Использовать грунт с лучшими параметрами за стенкой;
- Выполнить анкеровку опоры стенки;
- Увеличить трение путём задания наклона подошвы опоры;
- Выполнить анкеровку вертикального элемента.

Эти изменения ведут к экономическим и технологическим осложнениям, вместо чего можно использовать более простое решение. Наиболее эффективным способом решения будет изменение формы стенки и добавление упорного зуба. Теперь условие устойчивости против опрокидывания и скольжения по подошве выполняются (49,4% и 64,9%, соответственно) [3,4]. Далее во вкладке «Несущая способность» выполняется расчёт, показанный на рисунке 3, для несущей способности грунта основания - 175 кПа.

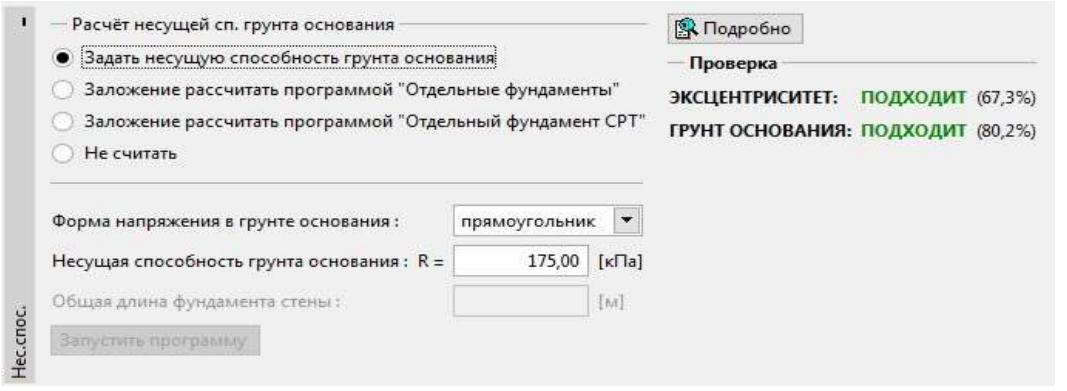


Рисунок 3 - Вкладка «Несущая способность», расчёт, для несущей способности грунта основания.

Далее следует перейти во вкладку «Устойчивость», где оценивается общая устойчивость стенки. Это приведёт к открытию программы «Устойчивость откоса», где необходимо перейти во вкладку «Расчёт». В данном случае используется метод Бишопа, который даёт достаточно консервативные результаты. Необходимо выполнить расчёт с оптимизацией круглоцилиндрической поверхности скольжения, нажать кнопку «Расчёт» для выполнения расчёта и после его завершения выйти из программы выбором пункта меню «Файл/ Передать данные и выйти». Результаты будут импортированы в отчёт программы «Уголковая стена».

Результат расчета:
Опрокидывание: $M_{res}=218,35 > M_{ovr}=107,94$ [kNm/m]
УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО
Скольжение: 64,9% $H_{res}=99,26 > H_{act}=64,38$ [kN/m]
УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО
Несущая способность: 80,2% $Rd=175>\sigma=140,31$[kPa]
УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО
Армирование стенки: 85,4% $M_{Rd}=169,92> M_{Ed}=145,18$[kNm]
УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО
Общая устойчивость: 39,4% Метод-Бишоп (оптимизация)
УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО
Данная консольная подпорная стенка УДОВЛЕТВОРЯЕТ требованиям.

Заключение

Учёт состояния песчаного грунта, особенно его увлажнения, является критически важным фактором для обеспечения надёжности, устойчивости и долговечности проектируемых подпорных стен.

Поправка на мокрый песчаный грунт обязательное требование безопасности. Корректное определение и применение пониженного значения угла внутреннего трения φ для водонасыщенного песка в сочетании с надёжным дренажем является фундаментальной основой для проектирования устойчивых и безопасных подпорных стен на песчаных основаниях. Игнорирование этого фактора равносильно проектированию на аварийную ситуацию. Все расчёты должны строго соответствовать требованиям действующих нормативных документов по проектированию подпорных стен и оснований.

Список использованных источников

1. Бенмебарек Н., Лабди Х., Бенмебарек С. Численное исследование активного давления грунта на жёсткую подпорную стенку при различных режимах перемещения // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2016. – № 1. – С. 24.

2. ГОСТ Р 58875-2020. Геосинтетические материалы для армирования грунтов. – Введ. 2021-07-01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 34 с.

3. СП 43.13330.2012. Подпорные стены. Правила проектирования и мониторинга : актуализированная редакция СНиП 2.09.03-85. – Введ. 2013-01-01. – М. : Минрегион России, 2012. – 50 с.
4. Ковалев, И. В. Расчет подпорной стены. Методические указания к курсовой работе / И. В. Ковалев, Н. С. Несмелов. – Санкт-Петербург : ПГУПС, 1992. – 56 с.
5. Петров, В. Л. Инженерная геология северо-запада России / В. Л. Петров. – М. : Стройиздат, 2018. – 245 с.
6. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – Введ. 1985-01-01. – М. : Стройиздат, 1985. – 42 с.

УДК 69.033.6
67.03.03 Теория расчёта сооружений и конструкций

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАБИОННОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНЫ ПРИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Россоль Даниил Юрьевич,
Аспирант группы ПГА-401, факультет "Транспортное строительство" Петербургский государственный университет путей сообщения Александра I.
e-mail: danyasavelev28@yandex.ru

Пегин Павел Анатольевич
Петербургский государственный университет путей сообщения Александра I, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры

Аннотация. *В современном строительстве габионные системы приобрели ключевое значение в обустройстве автомобильных магистралей, инженерных защитных сооружений и ландшафтном дизайне. В отличие от традиционных подходов, габионные решения демонстрируют большую экономическую целесообразность, экологичность, долговечность и визуальную привлекательность. В дорожном строительстве часто возникает задача проектирования земляного полотна в ограниченном пространстве, где уменьшение высоты откоса не всегда представляется возможным. Для решения этой проблемы был разработан и протестирован с использованием математического моделирования метод повышения стабильности крутых откосов посредством габионов. В данной работе габионная конструкция анализируется как элемент защиты автомобильной дороги 41К-075 «Юкки-Кузьмолово» на участке с 8-го по 12-й километр (Ленинградское шоссе), расположенном в Ленинградской области.*

Ключевые слова: *Подпорные стены, габионные конструкции, песчаные грунты, математическое моделирование, расчёт подпорных стен, разрушения, территориальное зонирование.*

При строительстве и реконструкции автомобильных дорог часто требуется выполнение инженерной защиты трассы для обеспечения её безопасной эксплуатации. Однако для создания надёжной и долговечной конструкции необходимо учитывать множество факторов. Большая выгода наблюдается при строительстве габионных конструкций вместо монолитных подпорных стенок в долговечности, пластичности и цене.

Инженерно-геологические изыскания и геофизические исследования участка реконструкции автомобильной дороги.

Реконструкция автомобильной дороги 41К-075 "Юкки-Кузьмолово" с 8-го по 12-й километр (Ленинградское шоссе) в Ленинградской области потребовала выполнения инженерной защиты трассы в связи с наличием сложных инженерно-геологических условий. На рисунке 1 показан участок, требующий повышения устойчивости крутых откосов габионами с применением геосинтетических материалов [2].



Рисунок 1 – Участок реконструкции автомобильной дороги (вид слева).

На исследуемой территории зафиксирован небольшой оползень блокового типа. Его движение происходило в западном направлении, вдоль склона. Причиной соскальзывания стало разрыхление породы под воздействием выветривания и проникновение грунтовых вод к уже существующей поверхности скольжения. Кроме того, в ходе визуального осмотра были обнаружены активно развивающиеся процессы глубинной эрозии, проявляющиеся в виде промоин. Инженерно-геологические изыскания показали, что уровень грунтовых вод находится на глубине от 1 метра. Участок имеет следующие границы: с севера и юга он примыкает к строительной площадке автодороги, а с востока и запада ограничен искусственными откосами. Над этими откосами расположены частные складские помещения, это показано на рисунке 2.



Рисунок 2 – Подготовка участка работ к реконструкции дороги и строительства подпорной стены (вид справа).

Для инженерной защиты автомобильной дороги было принято решение о строительстве габионной подпорной стены. Этот выбор обоснован наличием как поверхностных, так и грунтовых вод, а также экономической целесообразностью. Использование габионной конструкции позволит избежать необходимости устройства дренажа в застенном пространстве и гармонично интегрировать подпорную стену в существующий рельеф с минимальными затратами по сравнению с железобетонными аналогами.

Расчёт габионных конструкций выполнен в соответствии с [2]. Проверка внутренней устойчивости габионных подпорных стен заключается в расчётах прочности элементов конструкций и узлов их соединений по наиболее опасным сечениям [2].

Исходные данные для расчёта проектируемой габионной стены, состоящей из 4-х уровней (рисунок 3).

Высота стены (H): 4.23 м;
Ширина основания (B): 3.5 м;
Длина армир. панели ($L_{арм}$): 2.0 м;
Нагрузка на поверхности засыпки: q = 0.5 т/м² = 5.0 кПа;
Засыпка: Несвязный уплотненный грунт, γ_3 =18.0 кН/м³;
Основание: Песок из отсевов дробления.

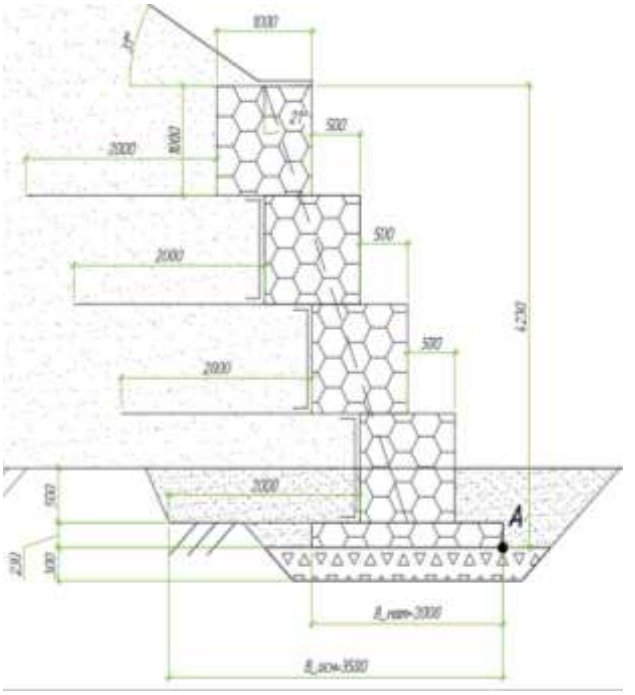


Рисунок 3 - Проектируемая габионная стена, состоящая из 4-х уровней.

Принимаем расчётные характеристики грунтов (на основе [1] и выполненных изысканий в 2024г.):

Для засыпки (несв. грунт) I гр.:
Удельный вес: γ_3 = 18.0 кН/м³;
Угол внутреннего трения: φ_3 = 32° (для уплотнённого песка [1]). Соответственно, $tg_{(32)}$ =0,6249;
Сцепление: c_3 = 0 кПа.

I гр. (по изысканиям):
Удельный вес: $\gamma_{Iосн}$ = 19.0 кН/м³;
Угол внутр. трения: $\varphi_{Iосн}$ = 12°.
Соответственно tg(12°) = 0.2126;
Сцепление: $c_{Iосн}$ = 10 кПа.

Для габионной конструкции:
- Насыпной удельный вес щебня фр.150-250 мм: γ_g =14.5 кН/м3;
- Угол внутреннего трения: φ_g = 40° (по [1]).
- Соответственно tg(40°) = 0.8391;
- Сцепление: c_g = 0 кПа (несвязный грунт).

Габариты проектируемой габионной стены:
- Ширина подошвы габионов на каждом уровне равна 1 м.
- Каждый следующий уровень смещен на 0,5 м относительно предыдущего;
- Ячейки 80х80 мм. Проволока диаметром 2,7 мм.
- Прочность армирующей панели: R_p = 47.0 кН/м.

Коэффициенты:
- коэффициент надёжности γ_n = 1,15;
- коэффициенте условий работы γ_c = 0,9;

- коэффициенте сочетания нагрузок для основного сочетания Ψ= 1,0.
- Коэффициент запаса устойчивости [k] = 1,15 * 1,0 / 0,9 = 1,3 (1)

Расчёт коэффициента активного давления

Расчетные характеристики для I группы:

- Удельный вес, $\gamma_з$ = 18.0 кН/м³
- Угол внутр. трения, $\varphi_з$ = 32°
- Сцепление, $c_з$ = 0 кПа

Равномерно распределенная нагрузка = 5 кПа. При β = 31° применяем формулу п.9.[1]:

$K_a = (\cos^2(\varphi - \Theta)) / (\cos^2\Theta * ((1 + \sqrt{(\sin(\Theta+\varphi) * \sin(\varphi-\Theta)) / (\cos(\delta+\Theta) * \cos(\Theta-\beta))})^2 = 0.362 / 0.872 *$
$* (1 + \sqrt{(0.743 * 0.018 / 0.997 * 0.616)})^2 = 0.318$ (2)

$\delta = 0.5\ \varphi = 0.5 * 32 = 16°$ $\Theta = -21$ $K_a = 0.318$

Расчёт сдвигающих сил (T_i) по уровням

Интенсивность доп. давления:

$\sigma_q = q * K_a = 5{,}0 * 0{,}318 = 1.59$ кПа. (3)

Интенсивность давления от грунта:

$\sigma_{ai} = \gamma * z * K_a = 18{,}0 * z * 0{,}318$ (4)

Интенсивность давления от нагр.: σ_q = 1.59 кПа.

Уровень 1 (h_1 = 1.0 м)

σ_{a0} = 0 кПа; $\sigma_{total0} = 0 + 1{,}59 = 1{,}59$ кПа.

$\sigma_{a1} = 18{,}0 * 1{,}0 * 0{,}318 = 5{,}72$ кПа;

$\sigma_{total1} = 5{,}72 + 1{,}59 = 7{,}31$ кПа.

$T_1 = (1{,}59 + 7{,}31)/2 * 1{,}0 = 4{,}45$ кН/м.

Уровень 2 (h_2 = 2.0 м)

$\sigma_{total1} = 7{,}31$ кПа.

$\sigma_{a2} = 18{,}0 * 2{,}0 * 0{,}318 = 11{,}45$ кПа;

$\sigma_{total2} = 11{,}45 + 1{,}59 = 13{,}04$ кПа.

$T_2 = (7{,}31 + 13{,}04)/2 * 1{,}0 = 10{,}18$ кН/м.

Уровень 3 (h_3 = 3.0 м)

$\sigma_{total2} = 13{,}04$ кПа

$\sigma_{a3} = 18{,}0 * 3{,}0 * 0{,}318 = 17{,}17$ кПа;

$\sigma_{total3} = 17{,}17 + 1{,}59 = 18{,}76$ кПа.

$T_3 = (13{,}04 + 18{,}76)/2 * 1{,}0 = 15{,}90$ кН/м.

Формулы:

Сумм. интенсивность: $\sigma_{totali} = \sigma_{ai} + \sigma_q$ (5)

Равнод: $E_{ai} = (\sigma_{total(i-1)} + \sigma_{totali})/2 * h_i$ (6)

Сдвигающая сила $T_i = E_{ai}$ (7)

Уровень 4 (h_4 = 4.0 м)

$\sigma_{total3} = 18{,}76$ кПа.

$\sigma_{a4} = 18{,}0 * 4{,}0 * 0{,}318 = 22{,}90$ кПа.

$\sigma_{total4} = 22{,}90 + 1{,}59 = 24{,}49$ кПа.

$T_4 = (18{,}76 + 24{,}49)/2 * 1.0 = 21{,}62$ кН/м.

Уровень 5 (h5 = 4.23 м)

$\sigma_{total4} = 24{,}49$ кПа.

$\sigma_{a5} = 18{,}0 * 4{,}23 * 0{,}318 = 24{,}21$ кПа.

$\sigma_{total5} = 24{,}21 + 1{,}59 = 25{,}80$ кПа.

$T_5 = (24.49 + 25.80)/2 * 0.23 = 5{,}78$ кН/м.

Суммарная равнодействующая активного давления

$E_{atotal} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 = 4{,}45 + 10{,}18 + 15{,}90 + 21{,}62 + 5{,}78 = 57{,}93$ кН/м/ (8)

$h = (h/3) * (2 * \sigma_{total0} + \sigma_{total5}) / (\sigma_{total0} + \sigma_{total5})$ (9)

$h = (4.23 / 3) * (2*1.59 + 25{,}80) / (1.59 + 25{,}80) = 1.492$ м.

Расчёт устойчивости против сдвига

Вес габиона: $G_g = B * h * \gamma_g = 1.0 * 1.0 * 14.5 = 14.50$ кН/м. (10)

Вес основания габиона: $G_{мат} = B * h * \gamma_g = 2.0 * 0.23 * 14.5 = 6.67$ кН/м. (11)

Суммарный вес габионной стены:

$\Sigma G_g = G_{g1} + G_{g2} + G_{g3} + G_{g4} + G_{мат} = 14{,}5 * 4 + 6{,}67 = 64{,}67$ кН/м. (12)

Вес грунта: $G_з = L_{арм} * h * \gamma_3 = 2.0 * 4.0 * 18.0 = 144.00$ кН/м. (13)

Суммарная нормальная сила по подошве: N = 64.67 + 144.00 = 208.70 кН/м. (14)

Контакт: щебень (φ = 38°) - песок ($\varphi_{осн}$ = 12°, $c_{осн}$ = 10 кПа.)

Прочность определяется материалом – песком из отсевов дробления

Удерживающая сила:

$R = N_{total} * tg(\varphi_{осн}) + Bo_{сн} * c_{осн} = 208.7 * 0.2126 + 3.5 * 10.0 = 79.37$ кН/м. (15)
Сдвигающая сила: $T = E_{atotal} = 57,93$ кН/м. (16)

Проверка условия габионной стены на сдвиг по подошве:

$R / T > [k]$ [2] 79,37 / 57,93 = 1,37 > 1,3 – условие выполнено (17)

Расчёт устойчивости против опрокидывания

Опрокидывающий момент [2]: $M_{оп} = T * y0 = 57,93 * 1,492 = 86,43$ кН*м/м. (18)
Вес габионов приведен в таблице 1.

Таблица 1

Уровень	Высота, м	Ширина, м	Объем, м³/м	Вес, кН/м	Плечо, м	кН·м/м
1	1.0	1.0	1.0	14.50	2.5	36.25
2	1.0	1.0	1.0	14.50	2.0	29.0
3	1.0	1.0	1.0	14.50	1.5	21.75
4	1.0	1.0	1.0	14.50	1.0	14.50
5	0.23	2.0	0.46	6.67	1.0	6.67
Итого	4,23	-	4,46	64,67	-	108,2

Вес грунта засыпки приведен в таблице 2.

Таблица 2

Уровень	Высота, м	Ширина, м	Объем, м³/м	Вес, кН/м	Плечо, м	кН·м/м
1	1.0	2.0	2.0	36.0	4.0	144.0
2	1.0	2.0	2.0	36.0	3.5	126.0
3	1.0	2.0	2.0	36.0	3.0	108.0
4	1.0	2.0	2.0	36.0	2.5	90.0
Итого	4,0	-	8,0	144,0	-	468,0

Суммарный удерживающий момент:
$M_{уд} = 108,2 + 468,0 = 576,20$ кН·м/м.
Проверка условия устойчивости габионной стены против опрокидывания:
$M_{уд} / M_{оп} > [k]$ $M_{уд} / M_{оп} = 576,20 / 86,43 = 6,67 > 1,3$ – условие выполнено. (19)

Расчёт несущей способности основания

Исходные данные:
Ширина основания: $B_{осн} = 3.5$ м.
Вертикальная сила (N): 208.70 кН/м.

Для основания (песок) II гр.:
Удельный вес: $\gamma_{осн} = 19.0$ кН/м³
Угол внутреннего трения: $\varphi_{осн} = 14°$
Сцепление: $c_{осн} = 15$ кПа.

Допустимое давление на основание габионной стены определяется в соответствии с формулой 5.7[1]: (для φII=14 по табл.5.5[1]):

$M_\gamma \approx 0.29, M_q \approx 2.17, Mc \approx 4.69$

$R = (\gamma_{c1} * \gamma_{c2}/k) * [M_\gamma * b * \gamma + M_q * \gamma * d + M_c * c]$ (20)

$M_\gamma * b * \gamma = 0.29 * 3.5 * 19.0 = 19.28$ кПа. (21)

$M_q * \gamma * d = 2.17 * 19.0 * 0.53 = 21.85$ кПа. (22)

$M_c * c = 4.69 * 15 = 70.35$ кПа. (23)

Принимаем $\gamma_{c1} * \gamma_{c2}/k = 1,1 * 1,0/1,0 = 1,1$.
(Расчётное сопротивление основания R [1])
$R = 1,1 * (19.28 + 21.85 + 70.35) = 122.70$ кПа. (24)

Расстояние от точки А (указана на рисунке №3) до точки приложения реакции грунта основания N:
$d = (M_{уд} - M_{оп}) / N = (576,20 - 86,43) / 208,70 = 2,347$ м. (25)
Эксцентриситет (e_N): $e_N = B/2 - d = 3.5/2 - 2,347 = -0,597$ м. (26)

Полученная величина эксцентриситета e_N отрицательна, эффективное основание будет шире реального. В этом случае давление принимается равномерно распределенным по всей длине основания B. При расчёте давлений, распределение принимается постоянным на протяжении всего эффективного основания.

Расчёт максимального давления по подошве:
$\sigma_{vmax} = N / (B - 2*e_N) = 208,7 / (3.5 - 0) = 59,63$ кПа. (27)

Проверка условия по несущей способности основания: $\sigma_{vmax} < \gamma_c * R / \gamma_n$ (28)

$\gamma_c * R / \gamma_n = 0.9 * 122.70 / 1.15 = 96,0$ кПа

59,63 кПа <96,0 кПа – условие выполнено. Несущая способность грунта основания достаточна. Коэфф. запаса несущей способности основания K = 1.61.

При проверке прочности и анкерной способности армирующих панелей габионных стен рассматривается возможность разрушения конструкции под действием активного давления грунта засыпки на тыльную сторону габионов.

Вывод по расчёту устойчивости габионной стены:

Результаты проверки по предельным состояниям:

Общая устойчивость: Сдвиг: $kz_{осн} = 1,37 > 1,3$ — обеспечена.

Опрокидывание: $k_{оп} = 6,67 > 1,3$ — обеспечена с большим запасом.

Несущая способность основания: По подошве габионной стены коэфф. запаса несущей способности: K = 1,61 — обеспечена.

Прочность элементов:

Верхние армирующие панели — прочность обеспечена.

Нижняя армирующая панель — прочность обеспечена.

Анкеровка панелей: Требования выполнены для всех ярусов.

Общая оценка и вывод:

Несущая способность основания и общая устойчивость конструкции обеспечены и могут быть применены в строительстве при реконструкции автомобильной дороги.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 52132-2003. Изделия из сетки для габионных конструкций. Технические условия. — М., 2003. — 16 с.
2. ОДМ 218.2.049-2015. Методические рекомендации по проектированию и строительству габионных конструкций для укрепления откосов автомобильных дорог. — М., 2015. — 84 с.
3. Отчёт по инженерно-геологическим изысканиям участка реконструкции автодороги 41К-075 «Юкки-Кузьмолово» (Ленинградская область, км 8–12), 2024 г. — СПб., 2024. — 48 с.
4. Пособие по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства (к СНиП 2.09.03-85). — М.: Стройиздат, 1988. — 112 с.
5. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. — М., 2016. — 212 с.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов. Краткий курс: учеб. пособие для строит. вузов. — М.: Высшая школа, 1983. — 288 с.

УДК 692.232

67.13.31: Бетонные, железобетонные и арматурные работы

ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В BIM-СРЕДЕ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ 3D-ПЕЧАТИ

Смирнова Валерия Евгеньевна,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант

e-mail: smirnova.valeriya2095@gmail.com

Современный этап развития строительной индустрии характеризуется активным переходом к автоматизированным методам возведения объектов на основе аддитивных технологий [5].

Технологии строительной 3D-печати стремительно переходят из категории экспериментальных разработок в область практического гражданского строительства. Процесс автоматизированного послойного возведения зданий позволяет отказаться от традиционной опалубки, снизить трудозатраты на площадке и дает архитектору свободу в проектировании сложных бионических и криволинейных форм.

Отражением этой тенденции служит постепенное формирование нормативно-технической базы стандартов, регламентирующих применение аддитивных методов в строительном секторе [3].

Однако успешная реализация аддитивного проекта на строительной площадке напрямую зависит от качества его цифрового двойника - информационной модели, создаваемой в архитектурной среде. В традиционном проектировании мелкие геометрические неточности 3D-модели (пересечения элементов, незамкнутые контуры) не являются критичными, так как они незаметны при выпуске двухмерных чертежей. В случае со строительной 3D-печатью модель напрямую отправляется в специализированную программу-слайдер для генерации машинного G-кода [2]. Любая геометрическая ошибка в модели воспринимаются управляющим компьютером принтера неправильно, что приводит к сбоям в траектории сопла, неравномерной подаче бетонной смеси или полной остановке процесса печати.

В связи с этим возникает необходимость в формировании четких и простых правил геометрического моделирования строительных конструкций, адаптированных под требования аддитивного производства.

Критерии «корректной геометрии» для строительного слайсера.

При подготовке архитектурной модели к отправке на 3D-принтер ключевой задачей проектировщика является обеспечение ее топологической чистоты. Программа-слайсер, рассекающая здание на горизонтальные пласты, работает не с параметрическими «стенами» или «перекрытиями», а с их полигональной оболочкой (сеткой, состоящей из треугольников), в качестве базового формата передачи данных выступает формат STL [4].

Чтобы процесс послойного расслоения прошел безошибочно, модель должна соответствовать следующим критериям:

1. В архитектурной практике часто используются поверхности с нулевой толщиной (рисунок 3) для имитации тонких перегородок или сложных элементов декора. Для строительного 3D-принтера использование таких объектов недопустимо [1].

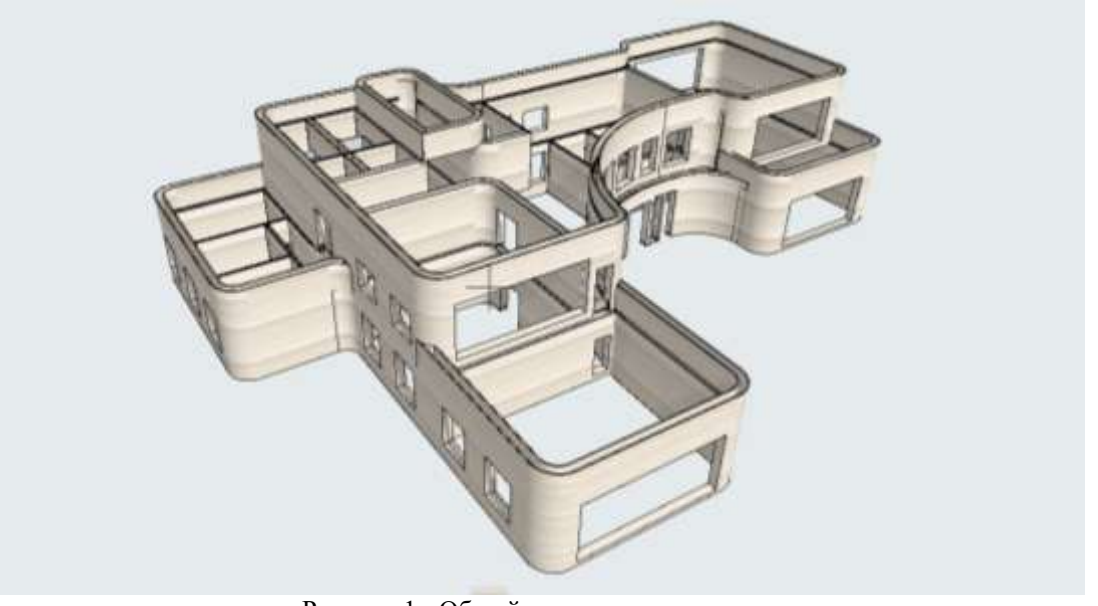


Рисунок 1 - Общий вид печатного каркаса

2. Модель должна быть «герметичной». Это означает, что любой печатный элемент обязан представлять собой замкнутый со всех сторон объемный контур, имеющий четко заданную физическую толщину (рисунок 2). Если стена смоделирована без толщины, алгоритм слайсера не сможет определить, где у объекта находится «внутреннее тело», которое нужно заполнить бетоном. Результатом такой ошибки станет отказ программы генерировать траекторию экструзии.

3. Корректная ориентация нормалей поверхностей. Каждый полигон в 3D-модели имеет лицевую и изнаночную стороны, направление которых определяется вектором нормали. При экспорте модели из BIM-программы все нормали наружных поверхностей стен должны быть строго обращены «лицом» во внешнюю среду. Если при моделировании или из-за некорректного экспорта происходит выворачивание нормалей, слайсер воспринимает геометрию зеркально: тело стены программа считает пустой, а внутренние помещения здания - сплошным бетонным массивом. Это приводит к критической ошибке в управляющей программе.

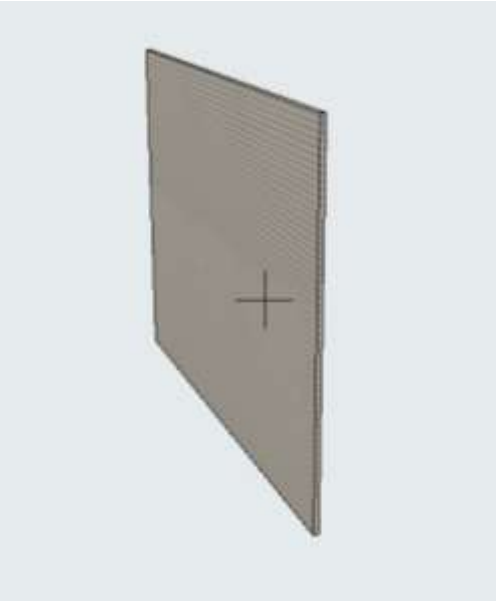


Рисунок 2 - Пример твердотельной стены с назначенной толщиной

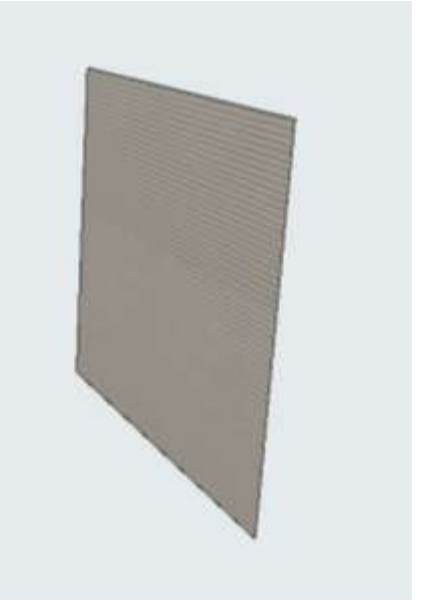


Рисунок 3 - Пример нетвердотельной стены с нулевой толщиной

Методика моделирования «отрицательного объема» для внутренних инженерных систем.

В традиционном строительстве скрытых стояков водоснабжения и водоотведения часто сопровождается последующим механическим штроблением стен и пробивкой отверстий. В аддитивном строительстве из мелкозернистого бетона механическое воздействие на послойно напечатанную конструкцию категорически запрещено. Это обусловлено тем, что печатный бетон обладает ярко выраженными анизотропными свойствами, и прочность на растяжение при изгибе вдоль межслойных контактов значительно ниже прочности монолита, из-за чего любые удары и вибрации приводят к разрушению межслойной адгезии и образованию трещин [1].

Единственным технологически верным решением является предварительное проектирование «отрицательного объема» - сквозных внутренних каналов и ниш непосредственно в теле цифровой BIM-модели в среде ArchiCAD. При этом геометрические ниши должны строго соотноситься с нормативными требованиями к размещению трубопроводов и габаритами используемого сопла строительного 3D-принтера, адаптируя внутреннюю топологию под сохранение внешних проектных границ [6].

На примере проектирования каркаса S-образной конфигурации методика формирования «отрицательного объема» включает в себя следующие этапы:

1. Моделирование базовой геометрии стен: несущие ограждающие конструкции сложной геометрии создаются как монолитные твердотельные объекты фиксированной толщины, кратной толщине печатного валика смеси.

2. Создание элементов-операторов: в местах проектного прохождения инженерных сетей размещаются вспомогательные геометрические тела, выполняющие роль «вычитаемого объема».

3. Логическое вычитание: с помощью встроенного инструмента операций над объемными элементами из целевых стен вычитаются объемы подготовленных элементов-операторов.

В результате в структуре компьютерной модели формируются математические чистые ниши и отверстия, геометрия которых жестко зафиксирована в пространстве.

Пошаговый алгоритм подготовки и конвертации модели в программу-слайсер.

После завершения геометрического моделирования в BIM-среде выполняется сквозной алгоритм трансляции данных, трансформирующий архитектурные объемы в машинный код для ЧПУ-контроллера принтера без потери проектных параметров:

Шаг 1. Фильтрация и изоляция слоев. В среде ArchiCAD отключается видимость всех непечатных элементов (кровля, отделка, двери, окна). В трехмерном окне изолируется исключительно бетонный каркас здания со сформированными инженерными нишами.

Шаг 2. Настройка триангуляции при экспорте. Модель экспортируется в полигональный формат STL (или OBJ). На данном этапе критически важно шаг разбиения полигональной сетки. Он должен

обеспечивать гладкость изгибов стен, не допуская превращения бионической формы в грубые ломанные отрезки.

Шаг 3. Импорт в слайсер и конфигурация параметров. Файл STL импортируется в специализированное ПО строительного принтера. Настраиваются параметры аддитивного процесса: высота одного слоя и ширина полосы экструзии бетона [4].

Шаг 4. Автоматическая генерация непрерывной траектории. Математическое ядро слайсера послойно рассекает триангуляционную модель горизонтальными плоскостями с шагом, равным толщине слоя.

Благодаря тому, что в исходной модели заложен «отрицательный объем», слайсер безошибочно распознает ниши как пустоты. Программа автоматически выстраивает траекторию движения сопла в виде замкнутой непрерывной петли, которая плавно огибает внутренние отверстия и проемы по периметру, не прерывая подачу бетонной смеси растворонасосом. Таким образом, строительный 3D-принтер возводит стену с уже готовыми проемами, полностью исключая брак на площадке.

В ходе проведенного исследования установлено, что качество и геометрическая корректность информационной модели, создаваемой на предпроизводственном этапе, напрямую определяет стабильность процесса строительной 3D-печати.

Внедрение принципа абсолютной твердотельности элементов и методики моделирования «отрицательного объема» с помощью логических операций в ArchiCAD позволяет успешно интегрировать сквозные каналы для инженерных коммуникаций непосредственно в структуру несущих стен. Предложенный пошаговый алгоритм конвертации модели в формат STL и ее последующего послойного рассечения обеспечивает автоматическую генерацию безошибочного управляющего G-кода. Это гарантирует безаварийное возведение зданий сложной планометрии с уже готовыми технологическими нишами, исключает необходимость механического штробления бетона и существенно повышает общую технологическую и экономическую эффективность аддитивного строительства.

Список использованных источников

1. Momeni K., Vatin N.I., Hematibahar M., Gebre T.H. Differences between 3D printed concrete and 3D printing reinforced concrete technologies: a review // Frontiers in Built Environment. - 2025. - Vol. 10. - Art. 1450628.

2. Weng Y., Mohamed N. A. N., Lee B. J. S., Gan N. J. H., Li M., Jen Tan M., Li H., Qian S. Extracting BIM Information for Lattice Toolpath Planning in Digital Concrete Printing with Developed Dynamo Script: A Case Study // Journal of Computing in Civil Engineering. - 2021. - Vol. 35, No. 4. - Art. 0000964

3. Москвина Ю. Н. Стандартизация аддитивных технологий в строительстве // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». - 2023. - №4 (20). - с. 23-27.

4. Peralta-Abadia P., Smarsly K. Requirements analysis of additive manufacturing for concrete printing - A systematic review // Proceedings of the 39th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2022). - Bogotá, Colombia, 2022. - P. 1-8.

5. Faustin W., Sakin M., Kiroglu Y. C. 3D Printing Technology: A New Advancement for Modular Construction? // Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. - Surakarta, Indonesia, 2021. - P. 3042–3051.

6. Hernández Vargas J., Sjölander A., Westerlind H., Silfwerbrand J. Internal topology optimisation of 3D printed concrete structures: a method for enhanced performance and material efficiency // Virtual and Physical Prototyping. - 2024. - Vol. 19, No. 1. - Art. 2346290.

УДК 692.232

67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение

АРХИТЕКТУРНАЯ ТЕКТОНИКА И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЖЕСТКОСТЬ S-ОБРАЗНЫХ ЗДАНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ МЕТОДОМ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Смирнова Валерия Евгеньевна,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант

e-mail: smirnova.valeriya2095@gmail.com

Переход строительной индустрии к концепции Индустрии 4.0 ознаменовался интеграцией аддитивных методов производства в процессы возведения объектов капитального строительства [5].

Традиционная строительная парадигма, опирающаяся на использование стандартной опалубки,на протяжении веков диктовала ортогональное формообразование, ограничивая архитектурную выразительность рамками линейных поверхностей. Технология строительной 3D-печати методом послойного экструдирования мелкозернистых бетонных смесей полностью меняет этот подход, предлагая свободное, параметрическое формообразование без удорожания производственного цикла [1].

В условиях цифрового производства криволинейные конструкции, в частности S-образной планометрии, переходят из категории уникальных и трудновозводимых объектов в категорию технологически оптимальных решений. Развитие нормативно-технической базы аддитивного производства в Российской Федерации открывает возможности для проектирования общественных и детских образовательных пространств нового поколения [3].

В рамках данного исследования рассматривается синергетический эффект S-образной конфигурации стен, совмещающий в себе требования эргономики, архитектурной композиции и физико-механические особенности поведения бетона в процессе послойной печати.

Функционально-планировочные преимущества криволинейных S-образных форм.

При проектировании объектов гражданского назначения, особенно специализированных центров дополнительного образования или дошкольных учреждений, конфигурация внутреннего пространства напрямую влияет на безопасность и психоэмоциональное состояние пользователей. Использование плавных, S-образных и бионических очертаний позволяет решить комплекс планировочных задач в строгом соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими правилами и стандартими безопасности:

1. Травмобезопасность среды: полное исключение острых углов в зонах интенсивного транзита и игровых пространствах минимизирует риски детского травматизма при активном перемещении.

2. Оптимизация путей эвакуации и циркуляции: сглаженные S-образные стены естественным образом направляют людские потоки, исключая возникновение «застойных» зон, тупиков и резких сужений, что сокращает расчетное время эвакуации.

3. Акустический комфорт: криволинейные поверхности, в отличие от плоских параллельных стен, не создают эффекта поршневого эффекта, эффективно рассеивая звуковые волны. Это критически важно для пространств с высоким уровнем шума (рекреации, игровые залы).

4. Психологический паттерн «смягчения пространства»: округлые формы снижают уровень подсознательного стресса, стимулируют творческое мышление и формируют безбарьерную среду.

С точки зрения архитектурной тектоники, S-образная стена перестает быть просто ограждающей конструкцией: ее изгибы формируют естественные функциональные ниши, в которых без устройства дополнительных перегородок размещаются зоны отдыха, встроенные системы зранения или технологическое оборудование.

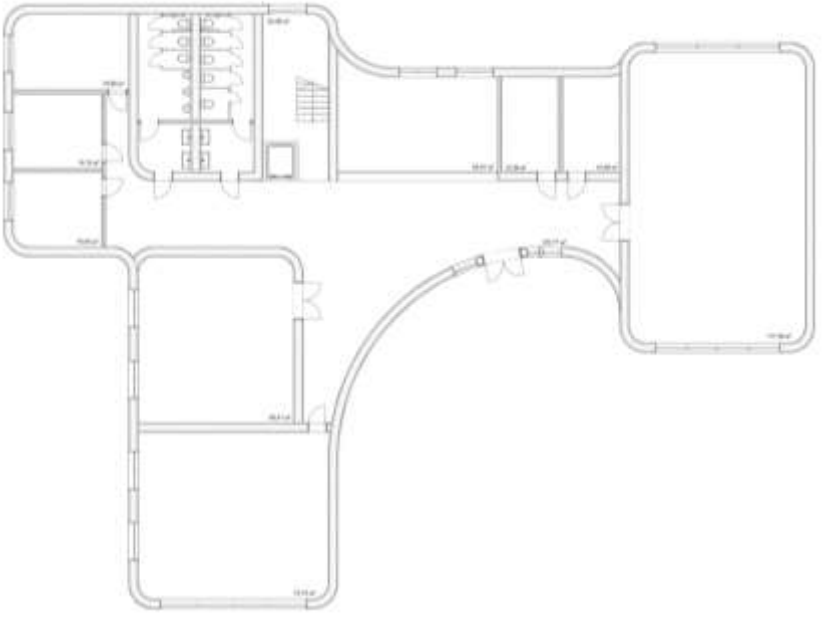


Рисунок 1 – План 1-го этажа проектируемого здания

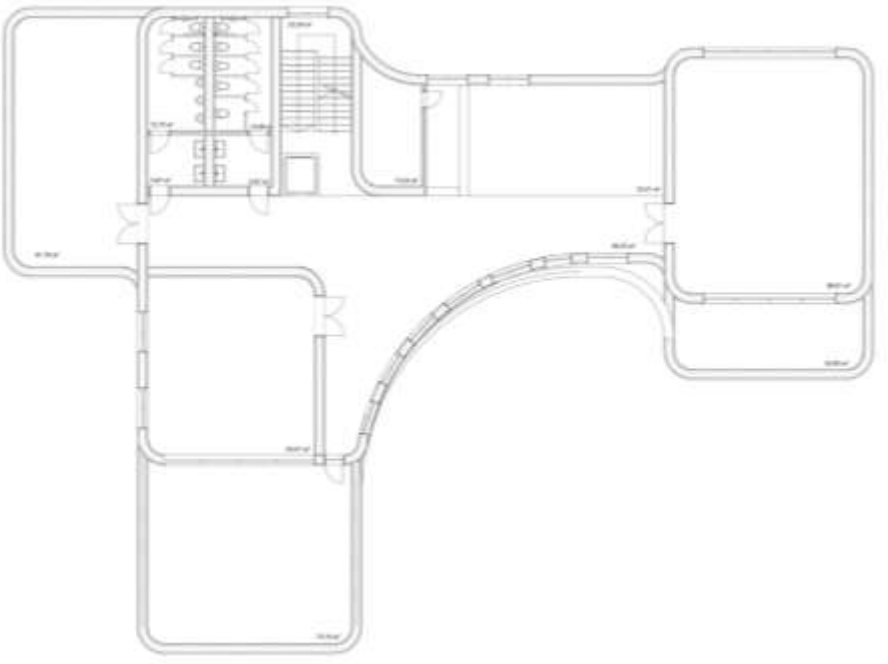


Рисунок 2 – План 2-го этажа проектируемого здания

Механика самонесущей способности свежеуложенного бетона.

Главным технологическим вызовом в аддитивном строительстве является обеспечение «возводимости» конструкции - способности свежевыжатого бетона выдерживать вес последующих слоев без разрушения и потери геометрической точности до момента начала схватывания смеси [4].

Одиночная прямая стена в неокрепшем состоянии обладает крайне низкой устойчивостью к продольному изгибу и опрокидыванию под действием собственной массы и случайных эксцентричных нагрузок (например, ветровых пульсаций или вибраций оборудования). Для предотвращения потери устойчивости прямых стен архитекторам приходится проектировать массивные контрфорсы, вводить временные поддерживающие леса или искусственно замедлять скорость печати, что снижает экономическую эффективность процесса.

S-образная конфигурация стен решает проблему устойчивости на геометрическом уровне:

1. Увеличение момента инерции сечения: при изгибе стены по S-образной траектории ее условная конструктивная толщина многократно превышает физическую толщину печатного валика. Это приводит к колосальному росту момента инерции поперечного сечения относительно центральных осей.

2. Снижение расчетной длины: Криволинейная стена разбивается изгибами на серию жестко связанных между собой коротких арочных сегментов. Расчетная длина волны на потерю устойчивости уменьшается, что позволяет возводить стены значительной высоты (до 3-4 метров в рамках одного цикла) без риска обрушения нижних слоев.

3. Распределение касательных напряжений: при послойной экструзии S-образной стены возникающие технологические эксцентриситеты и пластические деформации смеси взаимно компенсируются соседними участками с противоположным знаком кривизны.

Таким образом, S-образная геометрия преобразует конструкцию в пространственно-жесткую самонесущую систему еще на стадии «мокрой» печати, полностью исключая необходимость использования поддерживающей опалубки [6].

Интеграция утеплителя и армирования в структуру печатной стены.

Переход конструкции в стадию отвердевания требует обеспечения несущей способности здания под расчетными эксплуатационными нагрузками (полезная нагрузка, перекрытия, снег, сейсмика) и выполнения требований по тепловой защите зданий. В S-образных зданиях эти задачи эффективно решаются за счет создания многослойных полых печатных конструкций.

Принтер выстраивает S-образную стену в виде двух параллельных печатных контуров (внешнего фасада и внутреннего интерьера), соединенных между собой регулярными пространственными раскосами или диафрагмами из бетона [2]. Образовавшиеся замкнутые вертикальные полости используются для двух целей:

1. Размещение эффективной теплоизоляции: пустоты заполняются теплоизоляционными материалами, чаще всего напыляемым пенополиуретаном низкой плотности. В условиях сложной криволинейной формы классические плитные утеплители (минераловатная плита, экструдированный пенополистерол) неприменимы из-за невозможности их плотной подгонки к радиусным поверхностям и образования мостиков холода. Заливочные материалы полностью заполняют S-образные пазухи, гарантируя непрерывность теплового контура.

2. Устройство монолитного железобетонного каркаса: в критических точках S-образной стены полости оставляются свободными от утеплителя. В них устанавливается вертикальная стержневая арматура класса А500С, жестко связанная с выпусками из фундамента, после чего полость заливается тяжелым бетоном.

В результате аддитивного процесса формируется высокоэффективная гибридная конструкция: печатный бетон В30 выполняет роль несъемной опалубки и чистовой отделки, заливочный утеплитель обеспечивает энергоэффективность, а внутренние железобетонные сердечники создают скрытый рамно-связевой каркас, воспринимающий основные эксплуатационные и сейсмические нагрузки [1].



Рисунок 3 – Пример армирования печатной стены

Применение S-образных конфигураций стен при проектировании зданий, возводимых методом строительной 3D--печати, представляет собой пример глубокой интеграции архитектурной формы и производственной технологии. Сглаженная, бионическая планиметрия не только отвечает строгим требованиям эргономики и безопасности общественных пространств, но и выступает главным фактором обеспечения пространственной жесткости и устойчивости конструкции на предпроизводственном этапе. Использование геометрических преимуществ радиусных стен позволяет отказаться от поддерживающих приспособлений в процессе экструзии, снизить материалоемкость за счет оптимизации топологии полостей и создать надежную, тектонически честную структуру здания, полностью отвечающую современным стандартам долговечности и энергоэффективности.

Список использованных источников

1. Momeni K., Vatin N.I., Hematibahar M., Gebre T.H. Differences between 3D printed concrete and 3D printing reinforced concrete technologies: a review // Frontiers in Built Environment. - 2025. - Vol. 10. - Art. 1450628.

2. Weng Y., Mohamed N. A. N., Lee B. J. S., Gan N. J. H., Li M., Jen Tan M., Li H., Qian S. Extracting BIM Information for Lattice Toolpath Planning in Digital Concrete Printing with Developed Dynamo Script: A Case Study // Journal of Computing in Civil Engineering. - 2021. - Vol. 35, No. 4. - Art. 0000964

3. Москвина Ю. Н. Стандартизация аддитивных технологий в строительстве // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». - 2023. - №4 (20). - с. 23-27.

4. Peralta-Abadia P., Smarsly K. Requirements analysis of additive manufacturing for concrete printing -

A systematic review // Proceedings of the 39th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2022). - Bogotá, Colombia, 2022. - P. 1-8.

5. Faustin W., Sakin M., Kiroglu Y. C. 3D Printing Technology: A New Advancement for Modular Construction? // Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. - Surakarta, Indonesia, 2021. - P. 3042–3051.

6. Hernández Vargas J., Sjölander A., Westerlind H., Silfwerbrand J. Internal topology optimisation of 3D printed concrete structures: a method for enhanced performance and material efficiency // Virtual and Physical Prototyping. - 2024. - Vol. 19, No. 1. - Art. 2346290.

УДК 692.232
67.01.85 Автоматизация и цифровизация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМАТОВ ДАННЫХ IFC И STL В ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Смирнова Валерия Евгеньевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: smirnova.valeriya2095@gmail.com

Развитие аддитивного производства в строительном секторе неразрывно связано с концепцией сквозного цифрового проектирования [5]. В отличие от классических строительных технологий, где результатом работы архитектора является комплект чертежей, аддитивный метод требует непрерывной трансляции данных от трехмерной модели непосредственно к исполнительному органу строительного принтера. На этапе ключевой проблемой становится обеспечение интероперабельности – способности программного обеспечения различных разработчиков обмениваться данными без их потери и искажения [2].

В современной практике автоматизированного проектирования сформировались два принципиально разных подхода к экспорту геометрических данных для аддитивного производства: использование объектно-ориентированного формата IFC (Industry Foundation Classes) и полигонального формата STL (Stereolithography). Если формат STL является стандартом для промышленной 3D-печати и поддерживается всеми существующими программами-слайсерами, то формат IFC выступает фундаментом технологии открытого информационного моделирования (Open BIM) в гражданском строительстве [3].

Статья посвящена сравнительному анализу данных форматов, определению их преимуществ и ограничений, а так же формированию оптимального алгоритма конвертации моделей из BIM-среды в управляющий машинный код.

Полигональный формат STL: особенности и ограничения в строительстве.

Формат STL аппроксимирует геометрию трехмерного объекта с помощью полигональной сетки, состоящей из непрерывных треугольников (триангуляция) [4]. Файл STL содержит исключительно геометрические координаты вершин треугольников и векторы нормалей, определяющие наружную сторону поверхности.

Преимущества применения STL в 3D-печати:

- Абсолютная совместимость со слайсерами: любое программное обеспечение для подготовки G-кода (Simplify3D, Cura, Slic3R) бесконфликтно импортирует файлы STL.
- Математическая простота геометрии: отсутствие сложных связей позволяет слайсеру быстро выполнять послойное рассечение модели плоскостями по оси Z.

Критические недостатки STL в контексте BIM:

- Полная потеря семантических данных: при экспорте в STL из информационной модели удаляется вся информация о материалах, слоях, типах элементов (стена, колонна, балка и т.д.) и их связях [2]. Объект превращается в «пустую» геометрическую оболочку.
- Аппроксимация криволинейных поверхностей: любая бионическая или S-образная форма при конвертации в STL разбивается на плоские полигоны. Для достижения высокой гладкости печати требуется сверхмелкий шаг триангуляции, что увеличивает размер файла (до нескольких гигабайт) и приводит к зависанию вычислительных систем принтера.
- Сложность редактирования: внести изменения в геометрию файла STL на этапе предпроизводства практически невозможно; при при обнаружении коллизии архитектору приходится возвращаться в BIM-среду и повторять экспорт заново.

Объектно-ориентированный формат IFC: потенциал для аддитивного производства

Формат IFC разработан международным альянсов buildingSMART как открытый стандарт для обмена данными между различными BIM-платформами. В отличие от STL, IFC является объектно-ориентированным форматом: он описывает здание не как набор полигонов, а как структуру интеллектуальных параметрических объектов (IfcWall, IfcColumn, IfcSlab) [2].

Преимущества применения IFC в 3D-печати:

- Сохранение метаданных и атрибутов: IFC сохраняет полную информацию о физико-механических свойствах печатной смеси, технологических зазорах, времени набора прочности бетона и требуемых параметрах армирования [1].

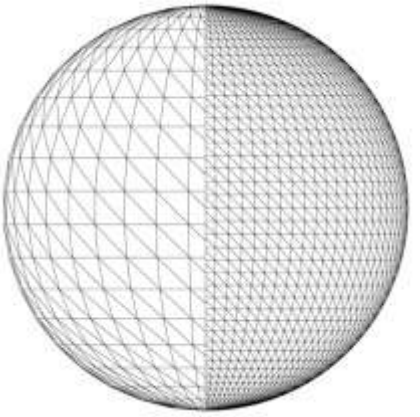


Рисунок 1 - Различие в количестве треугольников в STL-модели



Рисунок 2 - Точность криволинейных форм

- Возможность автоматизированного поиска коллизий: до отправки на печать модель в формате IFC может быть проверена в специализированных ПО на предмет пересечения проектных ниш «отрицательного объема» с элементами скрытого железобетонного каркаса или закладными деталями.

- Точное аналитическое представление геометрии: криволинейные S-образные стены описываются аналитическими формулами, что исключает дефекты триангуляции и гарантирует идеальную точность передачи проектного контура [6].



Рисунок 3 - Модель IFC центра развития ребенка

Сравнительный анализ и методология строительного транслятора данных.

Главное ограничение IFC:

Современное промышленное оборудование и строительные 3D-принтеры функционируют на базе ЧПУ-контроллеров, считывающих стандартный G-код. Ни один из существующих коммерческих строительных слайсеров не способен напрямую импортировать файл IFC и сгенерировать по нему траекторию движения сопла без промежуточной полигональной конвертации.

Для наглядного сопоставления возможностей форматов сформирована сравнительная матрица параметров (Таблица 1)

Таблица 1

Сравнительные характеристики форматов данных применительно к задачам 3D-печати бетоном

Тип представления геометрии	Передача свойств материалов	Точность криволинейных форм	Прямой импорт в программы-слайсеры	Возможность координации смежных разделов
Полигональная сетка (STL)	Полностью отсутствует	Приближенная (зависит от плотности сетки)	Да (базовый стандарт)	Нет
Параметрическое описание (IFC)	Полная поддержка	Абсолютная (математически точные кривые)	Нет (требуется триангуляция)	Да

Для преодоления разрыва между интеллектуальной BIM-моделью и исполнительным оборудованием в настоящее время активно разрабатываются специализированные скрипты и визуальные алгоритмы, которые извлекают семантическую информацию из IFC-контейнера и напрямую преобразуют ее в координатные точки траектории печати, минуя стадию промежуточного STL-файла [2].

Тем не менее, в стандартном производственном цикле наиболее стабильным остается двухэтапный комбинированный метод:

1. Этап координации: информационная модель разрабатывается в BIM-среде, экспортируется в формат IFC для прохождения экспертизы, верификации объемов бетона и проверки бесколлизионности интеграции инженерных систем [3].
2. Этап производства: верифицированная и утвержденная модель из BIM-среды переводится в формат STL с индивидуально настроенным высоким коэффициентом аппроксимации кривых поверхностей и направляется в слайсер для послойной нарезки и формирования G-кода [4].

В ходе проведенного анализа установлено, что форматы IFC и STL выполняют принципиально разные, но взаимодополняющие задачи в сквозном процессе аддитивного строительного производства. Формат STL на сегодняшний день остается незаменимым низкоуровневым инструментом для финального этапа – генерации машинных команд в программах-слайсерах. Однако его применение ограничено исключительно геометрическими данными. Для полноценной реализации преимуществ аддитивного возведения зданий со сложной биометрической и S-образной планиметрией критически необходимо внедрение объектно-ориентированного формата IFC на всех предпроизводственных этапах. Это позволяет сохранить физико-механические атрибуты конструкции, предотвратить проектные коллизии при интеграции инженерных систем и заложить основу для автоматического проектирования траекторий строительных роботов нового поколения.

Список использованных источников

1. Momeni K., Vatin N.I., Hematibahar M., Gebre T.H. Differences between 3D printed concrete and 3D printing reinforced concrete technologies: a review // Frontiers in Built Environment. - 2025. - Vol. 10. - Art. 1450628.

2. Weng Y., Mohamed N. A. N., Lee B. J. S., Gan N. J. H., Li M., Jen Tan M., Li H., Qian S. Extracting BIM Information for Lattice Toolpath Planning in Digital Concrete Printing with Developed Dynamo Script: A Case Study // Journal of Computing in Civil Engineering. - 2021. - Vol. 35, No. 4. - Art. 0000964

3. Москвина Ю. Н. Стандартизация аддитивных технологий в строительстве // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». - 2023. - №4 (20). - с. 23-27.

4. Peralta-Abadia P., Smarsly K. Requirements analysis of additive manufacturing for concrete printing - A systematic review // Proceedings of the 39th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2022). - Bogotá, Colombia, 2022. - P. 1-8.

5. Faustin W., Sakin M., Kiroglu Y. C. 3D Printing Technology: A New Advancement for Modular Construction? // Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. - Surakarta, Indonesia, 2021. - P. 3042–3051.

6. Hernández Vargas J., Sjölander A., Westerlind H., Silfwerbrand J. Internal topology optimisation of 3D printed concrete structures: a method for enhanced performance and material efficiency // Virtual and Physical Prototyping. - 2024. - Vol. 19, No. 1. - Art. 2346290.

УДК 69.07
67.11.29: Основания и фундаменты

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРУГЛОГО ШТАМПА И ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ СО СЖИМАЕМЫМ СЛОЕМ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Худяков Александр Владимирович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
e-mail: chudajkov@mail.ru

Бин Альшк Амар Маджед Абдулла Саид
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: Maged12@yandex.ru

Федотов Сергей Витальевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: fedotov1468@gmail.com

Реологические свойства в той или иной степени характерны для большинства дисперсных грунтов. В практике проектирования они исследуются далеко не всегда. Действующие Нормы не дают основанных на соответствующем формульном аппарате чётких рекомендаций. Тем не менее, учет реологического поведения в ряде случаев необходим, что заставляет проводить дополнительные специальные испытания, расчеты и менять подход к проектированию фундаментов.

Наклонные прослойки глинистых и песчаных грунтов приводят к неучтенным деформациям основания, появлению трещин в подземных и надземных конструкциях. В ряде случаев сдвиги по плоскостям на пластование слоев с разными свойствами вызывали аварии и катастрофы в гидростроении, мостостроении, промышленном и гражданском строительстве. Одной из наиболее ужасных катастроф в гидротехническом строительстве явился оползень объемом 240 млн. м3, обрушившийся в водохранилище Вайонт (Италия).

Задачами современной механики грунтов являются развитие и совершенствование существующих методов расчета оснований и фундаментов с учетом реологического поведения грунтов, а также получение новых решений с использованием моделей грунтов, учитывающих особенности их деформирования под длительно действующей нагрузкой.

С целью исследования напряженно-деформированного состояния, уточнения методики расчёта таких оснований и фундаментов была проведена серия опытов с моделями круглых штампов диаметром d=140мм и толщиной 10 мм. Исследования проводились в пространственном лотке размером 100x68x64 (h) см лотке (рисунок 1). Переменную жёсткость основания моделировали установкой жёсткой стальной пластины под углом $\alpha = 18^{o}$ градусов.

Глубина активной зоны (сжимаемой толщи, зоны деформаций) – это глубина, ниже которой деформациями грунтовой толщи при расчёте осадок фундамента можно пренебречь.При определении осадок, кренов, несущей способности фундаментов на клиновидном основании глубина активной зоны также играет большую и очень важную роль, т.е. когда нужно и когда не стоит учитывать влияние более жесткого слоя на работу этих конструкций. С этой целью все серии экспериментов проводились при разном расстоянии от поверхности основания до жесткого слоя. Относительное расстояние от поверхности основания до жесткого слоя h принималось h=0,75d; h=d.

Ступенчатую нагрузку передавали рычагом с 7.5 кратным увеличением. Каждая ступень нагрузки составляла 5÷10% от определенной ранее разрушающей. Нагрузку выдерживали до условной стабили-

зации (0,1 мм за один час наблюдения). В большинстве случаев достигали предельного состояния основания, т.е. происходило опрокидывание модели или резкое увеличение скорости перемещений. При небольшом разбросе полученных данных усредняли, при значительном – повторяли эксперимент.

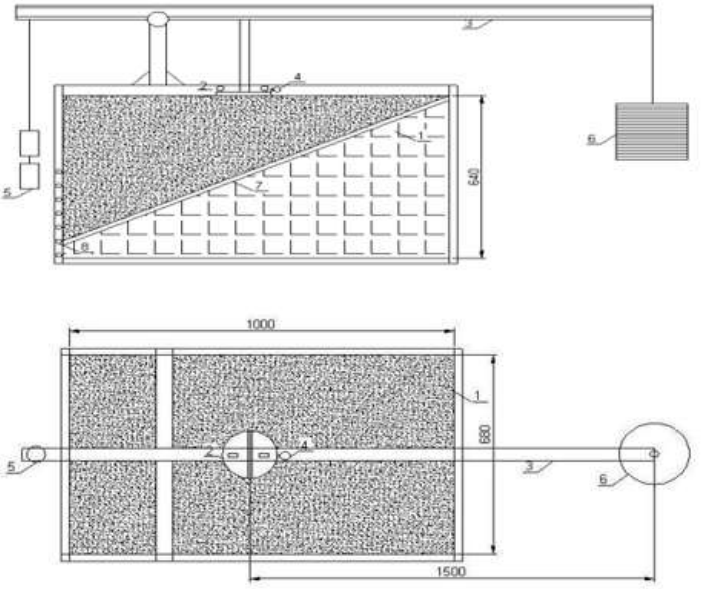


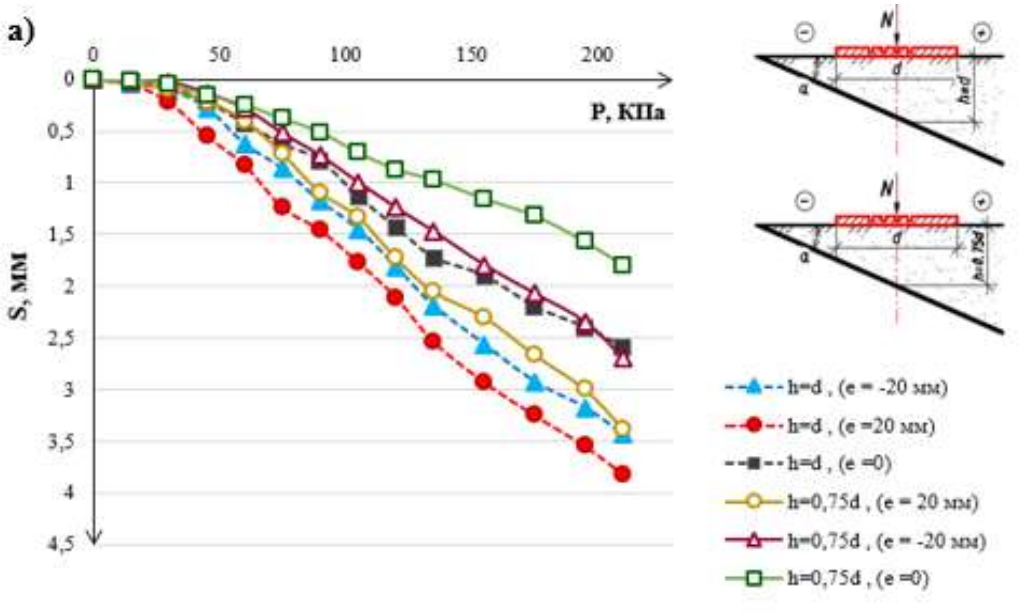
Рисунок 1 – Схема лабораторной установки
(1– уплотнённое основание; 2 – штамп; 3 – рычаг; 4 – индикаторы; 5 – противовес; 6 –прикладываемый груз; 7 – Пластина для создания переменной жёсткости основания; 8 – отверстия с шагом 5 см для закрепления пластины)

Вертикальные и горизонтальные перемещения контролировали индикаторами часового типа ИЧ-10 с точностью измерения 0,1 мм. Крен моделей определяли по разности осадок краев штампа (рисунок 1).

Для создания шероховатости нижняя поверхность штампа и верхняя поверхность пластины покрывались тонким слоем клея, а затем – песком. Все модели по методике М.И. Горбунова-Посадова [1] абсолютно жесткие.

Опыты проводили при действии осевой вертикальной и внецентренной нагрузках. Эксцентриситет приложения вертикальной силы к диаметру штампа принимался $e = e_o/b$ (0; ± 2 см).

Ниже приведены графики некоторых зависимостей осадки, горизонтальных перемещений и крена от давления.



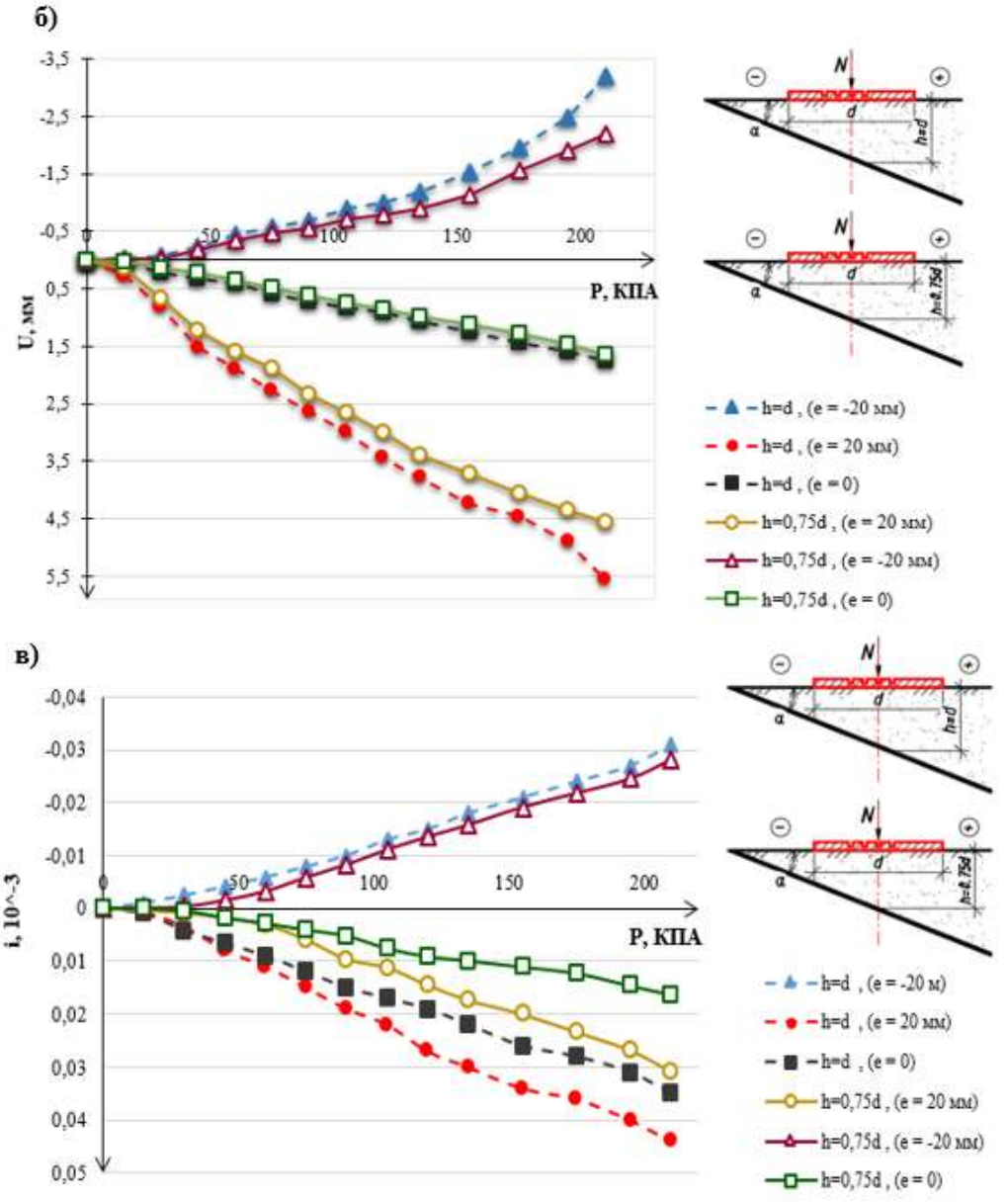


Рисунок 2 – Зависимость а) осадки, б) горизонтального перемещения, в) крена от эксцентриситета моделей круглых штампов на основании переменной жесткости.

Как видно из полученных данных (рисунок 2) минимальная осадка штампа e= e_o/d= 0 и h=0,75d, т.е. наличие более жесткого основания положительно влияет на вертикальные перемещения. С увеличением глубины до жесткого основания это влияние уменьшается.

Горизонтальные перемещения и крен происходят в сторону действия силы. Причем, их величины и скорости этих параметров выше в сторону увеличения толщины более слабого основания.

Список использованных источников

1. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. – Изд. 3-е. – М.: Стройиздат, 1984.- 679;

2. Алейников С.М., Иконин С.В. Оптимальные численные решения пространственной контактной задачи для круглого и кольцевого штампов на клиновидном основании. //Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и основания. – Новочеркасск: НПИ, 1990. – С .40-48.

3. Леденев В.В., Худяков А.В. Несущая способность и перемещения кольцевых фундаментов на наклонном песчаном основании. // Городские агломерации на оползневых территориях: Материалов

международной конференции, 15-17 октября 2003 г., Волгоград/ВолгГАСА. – Волгоград, 2003: 4II. 3-7 с.

4. Глушков А.В. экспериментальные исследования оснований фундаментов с различной формой подошвы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. ;URL: https://science education.ru/ru/article/view?id=21280;

5. Онопа, И. А. Результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния основания со сжимаемым слоем переменной толщины / И. А. Онопа // Труды НИИ оснований. – Москва,1983. – Вып.80. – С. 26–32;

6. Онопа, И. А. Осадки и крены прямоугольного штампа на клиновидном основании / И. А. Онопа, В. Г. Федоровский // Известия вузов: Строительство и архитектура. – 1984. – № 12. – С. 47–50;

7. Тер-Мартиросян З. Г. Прогноз осадки и длительной несущей способности основания фундамента конечной ширины / З. Г. Тер-Мартиросян, А. З. Тер-Мартиросян, Н. О. Курилин // Основания, фундаменты и механика грунтов. М. Стройиздат 2008. 2021. - №3. - С. 6-9;

УДК 69.07
67.11.31: Бетонные и железобетонные конструкции

ТОНКОСТЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ: ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ПРЕИМУЩЕСТВА

Худяков Александр Владимирович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
e-mail: chudajkov@mail.ru

Шарова Татьяна Алексеевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент бакалавриата кафедры «КЗиС»
e-mail: tanya.sharova.2003@mail.ru

Буланова Виктория Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент бакалавриата кафедры «КЗиС»
e-mail: bulvk04@mail.ru

Стремление человечества «покорить пространство и перекрыть максимально огромную площадь» на протяжении всей истории строительства стимулировало развитие инженерной мысли. Среди множества конструктивных решений особое место занимают тонкостенные большепролетные покрытия — пространственные системы, способные перекрывать пролеты от 30 до 100 и более метров при минимальной толщине несущих элементов. Актуальность изучения данных конструкций обусловлена их высокой эффективностью: как отмечают исследователи, экономический баланс оказывается в пользу пространственных конструкций при пролетах свыше 30 м с дальнейшим увеличением их экономичности при возрастании пролета.

Тонкостенными пространственными конструкциями называют такие системы, пространственная форма которых обеспечивает их жесткость и устойчивость, что позволяет доводить толщину элементов до минимальных размеров. К основным типам таких конструкций относятся различные виды оболочек, складчатые, купольные покрытия и другие. Оболочки представляют собой геометрические тела, ограниченные криволинейными поверхностями, расстояние между которыми мало по сравнению с другими размерами. Складки, в отличие от оболочек, состоят из плоских тонкостенных плит, жестко соединенных между собой под некоторым углом.

Купол -выпуклая пологая или подъемистая оболочка на круглом, эллиптическом или полигональном плане. Элементами купола являются осесимметричная оболочка вращения и опорное кольцо. Ось вращения купола занимает в пространстве вертикальное положение. Видом плоской кривой, вращением которой вокруг вертикальной оси образуется купол, обусловлено его название.

Рациональные объемно-планировочные решения одноэтажных зданий зального типа – это прежде всего решения зданий с укрупненной сеткой колонн, что существенно увеличивает коэффициент использования производственных площадей. Строительство зданий с крупной сеткой колонн и плоскостными

покрытиями нерационально, так как с ростом пролетов вес покрытия значительно возрастает. Задача может быть решена, если для покрытия применить пространственные тонкостенные оболочки, в которых один и тот же элемент выполняет одновременно ограждающие и несущие функции.

Как подчеркивают исследователи, тонкие железобетонные оболочечные покрытия обладают явными преимуществами перед традиционными конструкциями: превосходной эстетикой, способностью перекрывать большие пространства без использования внутренних опор, высоким отношением прочности к весу и высокой жесткостью (чрезмерные прогибы обычно не являются проблемой).

Железобетонные тонкостенные пространственные конструкции покрытий (оболочечные конструкции) обладают значительными преимуществами перед обычными плоскими покрытиями. В оболочках более рационально распределяются усилия, т. к. большая часть поверхности оболочек сжата, а растягивающие усилия действуют, как правило, лишь в контурных элементах и небольших приопорных зонах оболочек. Этим объясняется малый расход бетона и арматуры на 1 м 2 перекрываемой площади и возможность перекрывать большие пролеты без промежуточных опор (пролеты 100…200 м не являются редкостью). Здания, перекрытые оболочками, обладают высокой архитектурной выразительностью. Оболочечные конструкции в строительстве позволяют возводить архитектурно выразительные объекты, хорошо вписываемые в окружающую обстановку. Многие из объектов становятся достопримечательностью районов, а в некоторых случаях, и их эмблемами.

Тонкостенные большепролетные покрытия находят применение в самых разнообразных сооружениях:

-спортивные и зрелищные сооружения (стадионы, концертные залы);

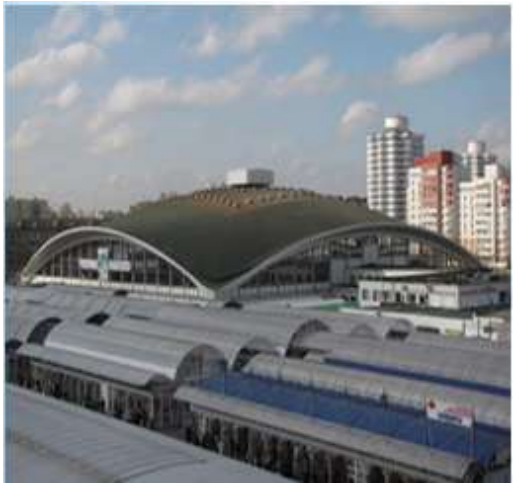
-рынки и торговые центры, для которых наиболее часто используются оболочки положительной гауссовой кривизны (рисунок 1а);

-промышленные здания: склады, ангары для техники и оборудования, заводские корпуса;

- культовые сооружения.

Первые тонкостенные пространственные конструкции в виде куполов (диаметр опорного кольца 20-25м) появились в Германии в 1922 году при строительстве планетариев. Для более точного выполнения формы купола фирмой Цейса была предложена специальная шарнирная сетка, которая вначале применялась и как арматура, а затем как опалубка, позволившая довести толщину куполов до 6 и даже 4 см [6].

В Советском Союзе примерно в 1928 г. железобетон стал широко использоваться в строительстве тонкостенных пространственных конструкций: разнообразных оболочках, складах, шатрах, сводах и куполах. Советский ученый В. 3. Власов первым разработал общий практический метод расчета оболочек, значительно опередив зарубежную науку в этой области. Первый тонкостенный купол значительного диаметра (28 м) был построен в 1929 г. в Москве для планетария, а самый большой в то время гладкий купол диаметром 55,5 м. был сооружен в 1934 г. над зрительным залом театра в Новосибирске (рисунок 1б). Конструкцию купола разработал инж. Б. Ф. Матери по идее и под руководством П. Л. Пастернака.

а)  б) 

а) одноволновая оболочка положительной гауссовой кривизны павильона Комаровского рынка в г. Минск, Республика Беларусь; б) железобетонный купол покрытия Большого театра в Новосибирске

Рисунок 1 – Примеры тонкостенных оболочек

В советский период были достигнуты большие успехи в разработке типовых сборных большепролет-

ных пространственных конструкций типа тонкостенных оболочек и складок из железобетона, армоцемента и сталефибробетона для массового применения в промышленном строительстве.

Значительный вклад в развитие теории расчета пространственных железобетонных конструкций внес профессор А.А. Гвоздев. Золотой век тонких бетонных оболочек пришелся на период примерно с 1930 по 1965 год, когда такие инженеры-архитекторы, как Эдуардо Торроха (Испания), Антон Тедеско (США), Феликс Кандела (Мексика), Луиджи Нерви (Италия) и Хайнц Ислер (Швейцария), создали одни из самых впечатляющих оболочечных покрытий в истории.

Применение в строительстве рамных и тонкостенных пространственных систем с использованием их жесткости и монолитности следует считать вторым этапом в развитии железобетона.

Однако в период с 1965 по 1980 год популярность тонких железобетонных оболочек постепенно снизилась. Основные причины — высокая стоимость опалубки для криволинейных поверхностей и жесткая конкуренция со стороны более экономичных решений, таких как стальные пространственные решетки.

В настоящее время интерес к таким конструкциям возрастает. Современные исследования тонкостенных большепролетных покрытий активно используют методы компьютерного моделирования. Так, в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете проводятся исследования прочности и устойчивости ортотропных оболочечных конструкций. Разработанные математические модели учитывают геометрическую нелинейность, поперечные сдвиги и ортотропию материала.

При проектировании зданий общественного назначения оболочки двоякой отрицательной кривизны широко применяются, так как позволяют получать сооружения оригинальной формы. Существенным достоинством поверхностей двоякой отрицательной кривизны является их линейчатость, позволяющая конструировать форму или опалубку из прямолинейных элементов и пользоваться виброрейкой при укладке бетона.

Особое внимание уделяется проблеме потери устойчивости. Тонкостенные оболочечные конструкции могут терять работоспособность не только из-за необратимых изменений в материале (потеря прочности), но и из-за потери устойчивости, когда малое изменение нагрузки приводит к существенному быстрому возрастанию перемещений (прогибов). Разрабатываются также эффективные алгоритмы оптимального формообразования большепролетных структурных покрытий на нетиповых прямоугольных планах с учетом конструктивного решения узлов при оценке устойчивости центрально-сжатых элементов.

Выбор конструктивных решений, типа и очертания поверхности пространственных конструкций покрытий и перекрытий зданий и сооружений следует производить исходя из технико-экономической целесообразности применения таких конструкций в конкретных условиях строительства с учетом архитектурно-технологических и производственных требований, максимального снижения их материало-, трудо-, энергоемкости и стоимости. В необходимых случаях покрытия и перекрытия с применением тонкостенных пространственных конструкций должны удовлетворять акустическим и светотехническим требованиям, условиям отопления и вентиляции, а также допускать возможность подвески кранового оборудования, технологических коммуникаций, потолка или площадок и т.п.

На основе выше сказанного следует отметить достоинства тонкостенных пространственных покрытий:

- возможность перекрывать большие пролеты (более 100 м) без промежуточных опор в соответствии с функциональным назначением здания, а в промышленных зданиях – легко изменять технологический процесс;

- экономия материалов на 25...40 % по сравнению с плоскими линейными конструкциями, что объясняется рациональным использованием работы бетона (на сжатие); - совмещение несущих и ограждающих функций в отличие от плоских покрытий, где часть конструкций выполняет несущие и ограждающие функции (плиты покрытия), а часть – только несущие (стропильные и подстропильные конструкции);

- железобетонные оболочки обладают высокими прочностными и жесткостными характеристиками;

- снижение собственной массы конструкций, что особенно важно при больших пролетах;

- оболочки наиболее полно отвечают требованиям по улучшению структуры и рациональному применению строительных конструкций, повышению качества архитектурных, градостроительных и объемно-планировочных решений зданий и сооружений, в целом, уменьшению их материалоемкости и стоимости.

Недостатки тонкостенных пространственных покрытий:

- трудоемкость возведения, вызванная необходимостью использования специальных подмостей (в последние годы благодаря разработке эффективных решений в сборном железобетоне, применению прогрессивных методов монтажа этот недостаток в значительной степени устраняется);

- сравнительная сложность приспособлений для устройства подвесного транспорта;

- усложнение устройства кровли, особенно при покрытиях двоякой кривизны;

- криволинейные элементы менее технологичны в изготовлении, чем плоские.

Следует отметить, что в ряде случаев строительство объектов с применением оболочечных конструкций требует особой ответственности, высокой квалификации, использования совершенных способов контроля и мониторинга, современных достижений науки и техники, опыта строительства и эксплуатации.

Список использованных источников

1. Байков В.Н., Хампе Э., Рауэ Э. Проектирование железобетонных тонкостенных пространственных конструкций: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1990. – 232 с.
2. Делягин М. Ю. Связанный термомехинический расчет шарнирно опертой сферической оболочки из разносопротивляющегося материала/ М.Ю. Делягин, А.А. Трещев // Изв. Тул ГУ. Технические науки.-Тула: ТулГУ,2013.-№11.-С.311-320.
3. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. СП 52-117-2008. Часть 1. Методы расчета и конструирования, ФГУП НИЦ «Строительство», 2008.
4. Канчели Н.В. Строительные пространственные конструкции. Изд. 3. Учебное пособие. / Н.В. Канчели. –М.: АСВ, 2008. -128с.
5. Колчунов В.И. Пространственные конструкции покрытия. Курсовое и дипломное проектирование. Учебное пособие. / В.И. Колчунов, К.П. Пятикрестовский, Н.В.Клюева. –М.: АСВ, 2008. -352с.
6. Сахновский К.В., Горенштейн Б.В., Линецкий В.Д. Сборные тонкостенные пространственные и большепролетные конструкции: Учеб. Пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1969. – 429 с.

УДК 69.059.35
67.13.51: Работы по ремонту, восстановлению и реконструкции зданий и сооружений

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПЕРЕКРЫТИЙ И СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ИХ ЗАМЕНЕ В ЗДАНИЯХ ИСТОРИЧЕСКОЙ ПОСТРОЙКИ

Шевкопляс И.Е.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, кафедра «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: gsiad_tambov@mail.ru

Жоголева Ольга Александровна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: zhogoleva.olga@rambler.ru

Матвеева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: times02@yandex.ru

Как показано ранее в статьях [1,2], выбор конструктивных решений при замене перекрытий в зданиях исторической постройки является сложным многофакторным процессом. Согласно [3] к наиболее существенным факторам относятся: новое функциональное назначение здания; конструктивное решение несущего остова здания; несущая способность и техническое состояние стен и фундаментов; технические особенности устройства новых перекрытий; трудоемкость устройства предлагаемых вариантов перекрытий; необходимость повышения жесткости и устойчивости здания за счет устройства новых перекрытий; стесненность при проведении ремонтно-строительных работ.

Все перечисленные факторы оказывают совместное влияние на выбор конструктивных решений новых перекрытий и их технологичность. При этом в процессе оценки каждого отдельного фактора приходится учитывать технологичность принимаемого решения не только по этому фактору, но и по всей совокупности факторов, определяющих окончательное конструктивное решение.

В статье [2] на примере опыта НТЦС ТГТУ по замене деревянных перекрытий в зданиях исторической постройки Тамбова показано, что на практике при выборе нового конструктивного решения может одновременно рассматриваться несколько различных вариантов. К основным из них можно

отнести 4 варианта: устройство перекрытий с использованием сборных железобетонных плит заводского изготовления (вариант 1); устройство перекрытий по стальным балкам с межбалочным заполнением из мелких железобетонных плит или с монолитным железобетонным заполнением (вариант 2); устройство перекрытий по стальным балкам с размещением над ним монолитной железобетонной плиты (вариант 3); устройство монолитных железобетонных перекрытий с опиранием на стены по контуру или по двум-трем сторонам (вариант 4).

Каждое из перечисленных решений имеет ряд существенных достоинств и недостатков. По этой причине общим критерием, определяющим выбор окончательного варианта, может быть его технологичность. Вопросы оценки технологичности способов замены перекрытий, применяемых при реконструкции зданий исторической постройки, рассмотрены в достаточно большом количестве работ [4-8].

Анализ выполненных исследований показывает, что в данном случае под технологичностью нового конструктивного решения перекрытия авторами понимается совокупность конструктивных и технологических решений, обеспечивающих применение прогрессивной технологии и организации возведения новых перекрытий с наименьшими затратами материалов, труда и времени. Выбор таких технологий должен обеспечивать минимальную себестоимость устройства перекрытий при одновременном соблюдении требований к качеству выполняемых работ. При этом должны быть также соблюдены необходимые характеристики перекрытия, обеспечивающие последующую надежную эксплуатацию в условиях нового функционального процесса здания после реконструкции.

Анализ понятий технологичности в строительной отрасли показывает, что термин «технологичность» в настоящее время не имеет четкого определения в нормативно-технических и методических документах, относящихся к строительству. По этой причине в отдельных научных исследованиях его формулировки разнятся весьма существенно. Количественные и качественные показатели, характеризующие технологичность решения, имеют разную степень конкретизации.

Наиболее общим понятием технологичности в строительстве является его следующее определение. *Технологичность в строительстве* – это совокупность технических свойств объемно-планировочных и конструктивных решений строительных объектов, которые характеризуют их соответствие требованиям строительного производства и эксплуатации. Технологичность есть комплексная характеристика, определяющая технический уровень и совершенство проектов, а также организационно-технологическую надежность строительного производства на стадии проектирования и последующего исполнения.

Это определение в полной мере относится как к проектным решениям, так и к строительным работам по замене перекрытий при реставрации и реконструкции зданий.

При оценке технологичности в строительстве различают ее отдельные виды:

- *технологичность строительных конструкций*, определяемая соответствием конструкций всем требованиям технологических процессов на этапах изготовления, транспортировки, монтажа и эксплуатации;

- *проектная технологичность*, связанная с выбором рационального варианта совокупности объемно-планировочных, конструктивных и организационно-технологических решений строительной системы заданным параметрам;

- *строительная технологичность,* являющаяся комплексной характеристикой технологичности трех подсистем, а именно, изготовления, транспортирования, возведения конструкций строительного объекта при определенных ограничениях со стороны подсистемы последующей эксплуатации здания;

- *монтажная технологичность*, принимаемая с учетом подсистемы монтажа конструкций при определенном ограничении со стороны других подсистем;

- *комплексная технологичность*, объединяющая различные виды технологичности и охватывающая несколько этапов жизненного цикла строительных систем (например, от изготовления до эксплуатации объекта).

Для оценки различных видов технологичности используют разные количественные и качественные показатели. Например, для оценки монтажной технологичности новой конструкции перекрытия в реконструируемом здании может использоваться коэффициент технологичности, отражающий увеличение или уменьшение стоимости или трудоемкости возведения нового перекрытия. Его определяют путем сопоставления показателей возможных к применению конструкций перекрытия с эталонным образцом перекрытия.

В связи с отсутствием нормативно-технической документации относительно технологичности в строительстве и, соответственно, с отсутствием методик определения ее количественных показателей рассмотрена возможность использования для этого методики, разработанной в соответствии с ГОСТ 14.201-83 «Обеспечение технологичности конструкции изделий. Общие требования».

Технологичность конструктивного решения перекрытия может быть объективно оценена путем расчета количественных показателей технологичности согласно методики ГОСТ 14.201-83. Основными показателями технологичности в данном случае будут:

- абсолютное значение трудоемкости устройства нового перекрытия;
- абсолютные значения технологической себестоимости устройства перекрытия;
- уровень технологичности по трудоемкости устройства, определяемый показателем $K_T = T_И/T_{ИБ}$, где $T_И$ и $T_{ИБ}$ – ожидаемая трудоемкость устройства нового перекрытия и трудоемкость устройства перекрытия, принятого за базовый;
- уровень технологичности по технической себестоимости устройства, определяемый показателем $K_{СТ} = C_{ТИ}/C_{ТИБ}$, где $C_{ТИ}$ и $C_{ТИБ}$ – ожидаемая техническая себестоимость устройства нового перекрытия и себестоимость устройства перекрытия, принятого за базовый.

В качестве базового показателя среди перечисленных выше решений следует принять вариант устройства монолитных железобетонных перекрытий с опиранием на стены по контуру или по двум-трем сторонам (вариант 4).

Кроме перечисленных выше основных количественных показателей технологичности на выбор нового решения перекрытия могут оказывать и другие показатели, связанные с внешними условиями, влияющими на организацию работ. К ним в первую очередь относится фактор стеснённости [9]. Из-за стесненности во многих случаях приходится принимать вариант устройства монолитных перекрытий, имеющий при этом не лучшие показатели по технологичности.

При окончательном определении варианта устройства перекрытия необходим учет эксплуатационных качеств выбранного решения, и в первую очередь, его ремонтопригодность и долговечность.

Выбор и обоснование эффективных организационно-технологических решений по замене перекрытий должен производиться поэтапно в пределах четырех последовательных этапов.

На первом этапе должны выполняться подробные исследования здания исторической постройки, в результате которых должны быть установлены объемно-планировочные и конструктивные характеристики здания в целом и, в частности, характеристики подлежащих замене перекрытий. При исследованиях должны быть установлены техническое состояние и степень повреждений конструкций несущего остова здания. При этом должна быть определена пространственная жесткость и устойчивость здания в целом и ее отдельных элементов. На этом этапе должен быть установлен перечень и объемы необходимых работ, связанных с мероприятиями по обеспечению пространственной жесткости и устойчивости здания и его элементов на стадии разборки старых конструкций и выполнения последующих реконструкционных работ. К таким мероприятиям относится устройство временных усилений конструкций, меры по сохранению общей жесткости несущего остова и т.д. На данном этапе должно быть определено положение объекта в пределах застройки и степени стесненности выполнения работ, включая транспортирование, складирование и монтаж конструкций.

На втором этапе на основании выполненных исследований должен быть произведен выбор метода замены перекрытий. При этом должно быть выполнено сравнение возможных методов замены по условиям обеспечения ими пространственной жесткости и устойчивости здания и его элементов в процессе реконструкции, а также произведено сравнение вариантов по их экономичности исходя, например, из трудоемкости и стоимости работ. При выборе экономичного варианта должны учитываться работы по разборке перекрытий и смежных конструкций, по усилению и укреплению сохраняемых конструкций при различных методах замены перекрытий.

На третьем этапе производится выбор методов производства строительно-монтажных работ. Обоснование возможных методов производства работ осуществляется исходя из технических параметров зданий и условий обеспечения безопасности работ при реконструкции. Окончательный выбор технологических решений для установленного на втором этапе метода замены перекрытий производится на основе сопоставления технико-экономических показателей возможных вариантов.

На четвертом этапе производится разработка проектно-технологической документации для реализации принятого метода замены перекрытий и способа его технологического исполнения. Документация должна содержать: технологические схемы на виды основных и смежных работ при замене перекрытий и на выполнение специальных работ, например, по усилению других конструкций несущего остова здания; календарные планы производства работ; ведомости потребности в материально-технических ресурсах, машинах и механизмах, сведения о составе бригад и т.п.

Таким образом, критерий технологичности является одними из основных факторов, существенным образом, влияющим на выбор метода замены перекрытия и способа производства работ при его реализации в конкретном здании с учетом влияния стесненности застройки.

Список использованных источников

1. Матвеева, И. В. Принципы замены междуэтажных перекрытий объектов культурного наследия в исторической застройке провинциальных городов / И. В. Матвеева, Д. Д. Глинкина, И. Е. Шевкопляс // Современные проблемы материаловедения : Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2025. – С. 234-241.
2. Шевкопляс, И. Е. Влияние планировочных и конструктивных параметров зданий исторической застройки на выбор конструктивных решений перекрытий при реконструкции / И. Е. Шевкопляс, Д. Д. Глинкина, И. В. Матвеева // Современные проблемы материаловедения : Сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2026. – С. 89-98.
3. Леденев, В. И. Проблемы и практика замены деревянных перекрытий при реставрации исторических кирпичных зданий / В. И. Леденев, И. С. Агапов // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой 40-летнему юбилею Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2019. – С. 452-454.
4. Лебедев, В. М. Определение технологичности проектов строительства и реконструкции объектов / В. М. Лебедев, И. А. Ломтев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 80-83. – DOI 10.12737/article_5a001ab5b736a5.52602351.
5. Осипов, О. Ф. Выбор рациональных технологических решений при замене перекрытий реконструируемых жилых зданий / О. Ф. Осипов, С. Ф. Акимов // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – № 43. – С. 36-43.
6. Таран В.В. Выбор варианта устройства перекрытия при реконструкции зданий / В.В. Таран, А.Ф. Ильичев, Д.Е. Бершадская // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – № 6 (122). – С. 29-33.
7. Тилинин Ю.А. Технологичность способов усиления и замены перекрытий при реконструкции исторических зданий гарнизона Санкт-Петербурга / Ю.И. Тилинин // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2024. – № 1 (29). – С. 258-271.
8. Акимов, С. Ф. Особенности технологии замены перекрытий при реконструкции жилых зданий исторической городской застройки / С. Ф. Акимов, В. Д. Малахов // Экономика строительства и природопользования. – 2017. – № 3(64). – С. 5-10.
9. Казаков, Ю. Н. Выбор эффективных технологий замены межэтажных перекрытий при реконструкции исторических зданий в стесненных условиях / Ю. Н. Казаков, Ю. И. Тилинин // Экономика строительства. – 2025. – № 11. – С. 633-635.

СЕКЦИЯ 4

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 502.36
87.33.35: Экологическая безопасность

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ: ПРИНЦИПЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ТРЕНДЫ

Авдашин Виталий Сергеевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант,
e-mail: donutidonut@mail.ru

Кузнецова Наталия Владимировна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», профессор, научный руководитель кафедры «Архитектура и градостроительство»
e-mail: nata-kus@mail.ru

С конца 1980—1990-х годов «зелёное» строительство стало одним из приоритетов отрасли. Запуск британской системы экологической оценки BREEAM в 1990 году стал точкой становления устойчивого строительства. Её внедрение предоставило стандартизированный инструмент для сертификации, которая охватывала всё, начиная энергоэффективностью здания, до выбора материалов и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Успех британской системы стал стимулом для решения его глобального распространения. Так, в США появилась система сертификации LEED, которая была адаптированная под климатические особенности Америки, а в Германии сформировалась система DGNB с акцентом на оценку жизненного цикла и социально экономические параметров. Из-за роста числа стандартов получилось гармонизировать опыт разных стран, что привело к созданию World Green Building Council в 1999 году. Возникновение стандартов позволило сравнять проекты, повысить их качество и сделать строительство более экологичным [5].

Главной задачей проектируемого объекта является обеспечение максимально естественное и бережное взаимодействие с окружающей средой, вписав строительство в существующий ландшафт и экосистему. При этом архитектурные решения должны быть направлены на минимизацию негативного воздействия на природу и создание комфортной среды для жителей.

Одной из неотъемлемых частей экологического проектирования является оценка эффективности проекта экологического строительства, которая предполагает всесторонний анализ экономических, экологических и социальных показателей и производится в несколько этапов, представленных на рисунке 1 [3].

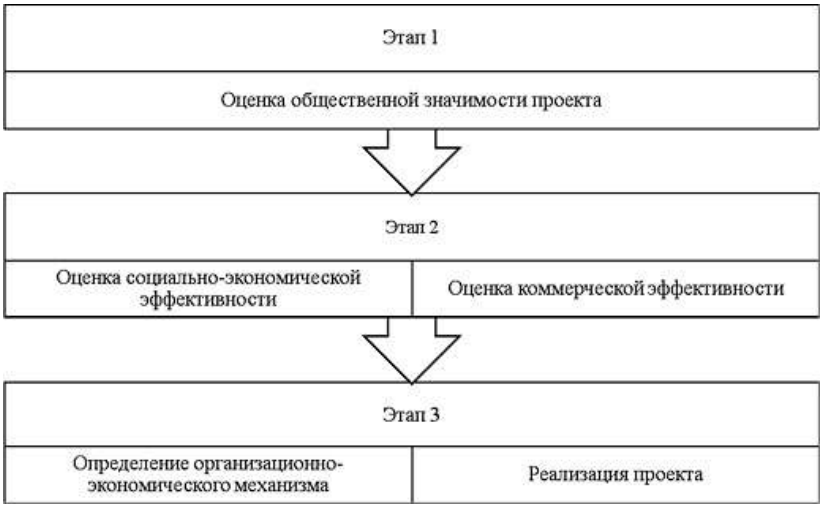


Рисунок 1 - Процесс оценки эффективности проекта

Оценка эффективности экологического строительного проекта в экологическом проектировании необходима для сопоставления затрат, ожидаемых экологических преимуществ и рисков с целью обоснованного решения о реализации. Этот процесс даёт количественные показатели снижения загрязнений и экономии ресурсов, помогает выбрать наиболее экономичные и устойчивые технические решения, гарантирует соответствие нормам, привлекает инвесторов, а также служит базой для мониторинга и корректировок в ходе реализации. Без проведения такой оценки экологическое проектирование лишается доказательной основы, в то время как аудит эффективности обеспечивает экономичность через снижение эксплуатационных затрат и соответствие международным стандартам.

Современная экологическая архитектура основывается на наборе взаимосвязанных требований, которые охватывают весь цикл проекта, от концепции и выбора материалов до эксплуатации и утилизации. Ключевые принципы включают энергоэффективность, рациональное расходование воды и по возможности замкнутые потоки ресурсов, что позволяет снизить потребление и уменьшить объём отходов. Такие подходы необходимо учитывать на всех стадиях проектирования: при планировке, выборе конструкций и инженерных систем, при организации строительного процесса и в эксплуатации здания [2].

Оптимизация формообразования должна лежать в основе проектирования: выбор проектных решений производится на основе ориентации по сторонам света, пропорций, конфигурации фасадов и планировочной структуры с целью максимального использования солнечного света и естественной вентиляции и минимизации ветрового воздействия, переохлаждения и перегрева, что обеспечивает рациональную инсоляцию и качественное дневное освещение жилых и рабочих зон. Пассивные приёмы климат-контроля при этом гармонично дополняются активными технологиями с учётом требований к ограждающим конструкциям и архитектурных ограничений.

Важная составляющая устойчивого проектирования является рациональное управление ресурсами. Одним из таких элементов служит сбор и повторное использование дождевой воды и талых стоков. При проектировании крыши и фасадов здания, особое внимание уделяется системам локального сбора, фильтрации, ёмкостей для хранения и подготовку воды для повторного использования. Собранная и очищенная вода применяется для полива озеленённых кровель, вертикальных садов и внутренних зелёных зон, а также покрывает потребности внутренних зимних садов и оазисов. Такие зелёные пространства имеют не только эстетические вид, но и функциональное применение. Например, растения повышают влажность, улучшают качество воздуха и могут быть использованы как буферы для забора тёплого наружного воздуха в холодное время года. В результате интеграция систем локального водосбора и озеленения снижает потребление питьевой воды, уменьшает нагрузку на городскую ливнёвую сеть и повышает микроклимат и энергоэффективность здания.

Интеграция и эксплуатация источников возобновляемой энергии в составе здания становится обязательной практикой. На кровлях размещают ветрогенераторы, солнечные коллекторы, фотоэлектрические модули и другие элементы энергосистемы, что повышает энергетическую автономность объекта и снижает эксплуатационные расходы. Правильная организация размещения на кровле обеспечивает безопасный и удобный доступ для регулярного технического обслуживания, диагностики и быстрой замены узлов.

Окна и фасадные проёмы тоже играют ключевую роль в энергетическом управлении здания и должны оснащаться современными системами сенсоров и автоматики. Датчики контролируют параметры внешней среды, такие как солнечная радиация, температура, ветер и влажность, а также внутренний микроклимат, к которому относятся температура и влажность. Управляющая логика автоматически регулирует воздухообмен, солнцезащиту и теплопотери в зависимости от текущих условий. Системы солнцезащиты и “умного” остекления проектируются с учётом широты и климатической зоны, а также обеспечивают трансформацию в течение суток и сезона: изменение угла ламелей, плавная регулировка степени затемнения, переключение режимов между прозрачностью и изоляцией, и автоматическое закрытие или открытие по расписанию и по сигналам датчиков.

Особое внимание уделяется конструкции самих окон: современные решения предусматривают переменную теплоизоляцию - например, многослойные заполнения с изменяемой воздушной прослойкой, переключаемые теплоизоляционные вставки или интегрированное энергоэффективное остекление с электронно-управляемой прозрачностью. Такие конструкции позволяют адаптировать теплопередачу к суточным и сезонным колебаниям температуры, снижая потребность в активном отоплении и кондиционировании.

Другой важной задачей для экологического проектирования является тщательный выбор строительных и отделочных экологически безопасных материалов. Предпочтение в выборе достаётся материалам безопасным для здоровья людей и с отрицательной эмиссией вредности. Они не только не вносят дополнительного загрязнения, но и способны активно удалять загрязнения внутри здания. Это

могут быть специализированные штукатурки и краски с очищающими наполнителями, покрытия с фотокаталитической активностью, материалы на основе живых или стабилизированных растений, а также дышащие утеплители и натуральные отделочные материалы, способствующие регулированию влажности и микробиологического баланса.

Весь комплекс инженерного оборудования, от водоотведения до климат-контроля, проектируется по критериям безопасности, энергоэффективности и надёжности. Для каждого инженерного решения создаётся план технического обслуживания и замены компонентов, обеспечивающие эксплуатацию на протяжении всего срока службы здания.

Современное экологическое проектирование сегодня выделяет несколько устойчивых тенденций, формирующих практику проектирования и строительства.

Основные тренды представлены в таблице 1 [6].

Таблица 1

Тренды экологического строительства

Тенденция	**Основные меры и технологии**	**Результат и преимущества**
Минимизация экологического следа	Проектирование ориентировано на использование долговечных материалов и систем переработки отходов. Особое внимание уделяется продлению срока службы зданий и энергосбережению на всех стадиях, от чертежей до сноса.	Это значительно снижает нагрузку на экологию и избавляет от необходимости частого проведения капитального ремонта или преждевременного демонтажа конструкций.
Энергоэффективность	В проекты интегрируются солнечные панели, тепловые насосы и высокоэффективная изоляция. Использование современных систем освещения и коллекторов позволяет максимально эффективно расходовать ресурсы.	Такие решения резко уменьшают эксплуатационные платежи и минимизируют выбросы парниковых газов, делая объект экономически выгодным и экологически безопасным.
Здоровая и комфортная среда	Основной акцент делается на глубокой фильтрации воды и воздуха, а также на создании качественной вентиляции. В архитектуру активно встраиваются зеленые дворики и благоустроенные парковые зоны.	Данный подход гарантирует отличный микроклимат и высокий уровень психофизиологического комфорта, что напрямую повышает качество жизни и благополучие жителей.
Инновационные и эко-материалы	Строители применяют биополимеры, древесные композиты и безопасные низкоэмиссионные герметики. Используются инновационные составы, способные дополнительно фильтровать воду и воздух.	Инновации обеспечивают высокую прочность строений при минимальном токсичном воздействии на природу, улучшая технические характеристики здания и безопасность среды.
Умные технологии и городская инфраструктура	Интеллектуальное управление инженерными системами сочетается с планированием компактных городов с пешеходной инфраструктурой. Применяется вертикальное озеленение фасадов и мониторинг качества среды в реальном времени.	В совокупности эти меры формируют современную ресурсосберегающую городскую среду с развитой сетью парков и эффективным использованием пространства.

Преимущества такого подхода к проектированию охватывают несколько важных аспектов: снижение энергопотребления за счёт более эффективных решений, существенное улучшение здоровья и комфорта жильцов благодаря качественной внутренней среде, а также долгосрочная экономия в виде уменьшение эксплуатационных затрат и рост рыночной стоимости недвижимости. Дополнительным плюсом является защита от будущих колебаний цен на энергоносители и возможность получения льгот или сертификаций,

повышающих инвестиционную привлекательность проектов.

Основные препятствия на пути внедрения таких решений связаны с нехваткой специализированных кадров, способных разрабатывать и обслуживать комплексные устойчивые системы, а также с высокими первоначальными затратами, которые отпугивают многих инвесторов. Кроме того, распространённой проблемой остаётся несовершенная либо полностью отсутствующая инфраструктура, что затрудняет масштабирование и интеграцию инновационных экологичных технологий в существующую застройку.

Перспективы экологического строительства неразрывно связно с развитием новых материалов с низким углеродным следом и внедрением умных технологий для усиления и оптимизации энергопотребления здания. При мере снижения себестоимости инноваций и технических барьеров устойчивое строительство станет стандартом, способствующим снижению глобальных выбросов, экономии ресурсов и повышению качества жизни в городской среде.

В России с 1 июля 2026 года вступает межгосударственный ГОСТ по «зеленому» строительству многоквартирных домов, разработанный специалистами ДОМ.РФ и ФЦС под эгидой Минстроя [4]. Этот ГОСТ заменит стандарт 2022 года и введёт единые критерии оценки экологического дома на всех этапах строительства. По оценкам ДОМ.РФ, при одновременном запуске мер государственной поддержки и стимулирования перехода на устойчивые технологии доля экологически сертифицированных многоквартирных домов в общей массе может вырасти с текущих примерно 5% до 20% к 2030 году [1].

Наблюдая за эволюцией зелёного строительства от первых систем сертификации, видно, как подходы стали более комплексными: теперь акцент делается на гармоничное взаимодействие с природой, внедрение возобновляемых источников энергии и замкнутые циклы ресурсов. Появление и замена старого ГОСТа в России свидетельствует о том, что устойчивое строительство перестаёт быть экспериментальной практикой и превращается в обязательный государственный стандарт с целью массового увеличения доли экологичного жилья и улучшения качества жизни.

Список использованных источников

1. ДОМ.РФ: Доля «зеленых» многоквартирных домов вырастет до 20% к 2030 году. — Текст: электронный // дом.рф : [сайт]. — URL: https://дом.рф/media/news/dom-rf-dolya-zelenykh-mnogokvartirnykh-domov-vyrastet-do-20-k-2030-godu/ (дата обращения: 02.05.2026).

2. Есаулов, Г. В. Экологически ориентированная архитектура высоких технологий / Г. В. Есаулов. — Текст: непосредственный // АВОК. — 2022. — № 7.

3. Оценка эффективности проекта экологического строительства. — Текст: непосредственный // Строительные материалы, оборудование, технологии. — 2023.

4. С 1 июля 2026 года в России вступает в силу межгосударственный ГОСТ для «зеленого» строительства. — Текст: электронный // mk.ru: [сайт]. — URL: https://www.mk.ru/economics/2026/03/16/s-1-iyulya-2026-goda-v-rossii-vstupaet-v-silu-mezhgosudarstvennyy-gost-dlya-zelenogo-stroitelstva.html (дата обращения: 03.05.2026).

5. Экоархитектура: история устойчивых архитектурных решений. — Текст: электронный // gallerix : [сайт]. — URL: https://gallerix.ru/pnews/202508/ekoarxitektura-istoriya-ustoychivyx-arxitekturnyx-resheniy/ (дата обращения: 03.05.2026).

6. Экологически устойчивое строительство: Тренды, Преимущества и Вызовы. — Текст: электронный // СТРОИМ ПРОСТО: [сайт]. — URL: https://stroimprosto.mos.ru/publications/ekologicheski-ustojchivoe-stroitelstvo-trendy-preimushchestva-i-vyzovy/ (дата обращения: 03.05.2026).

УДК: 621.31
44.41.01 Прямое преобразование энергии. Общие вопросы.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

Алексеева Ольга Валерьевна
ФГБОУ ВО Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского технологического университета,
доцент кафедры Инженерных дисциплин и управления
alekseeva_ov@inbox.ru

Галаган Наталья Александровна
ФГБОУ ВО Новороссийский политехнический институт филиал Кубанского технологического университета,
студент бакалавриата
nata271072@mail.ru

Современные экономическая ситуация в стране и мире требует использования энергоэффективных материалов при строительстве новых зданий и реконструкции уже имеющихся. Это связано с необходимостью эксплуатации ОКС (объектов капитального строительства) в течении многих десятилетий.

Поэтому вопросы изучения энергосберегающих материалов и технологий и применение их на этапе строительства зданий позволят экономить в дальнейшем на обслуживании ОКС и способствовать улучшению экологической ситуации в стране и мире.

Следовательно, вопрос сохранения ресурсов при значительном росте цен на них и постепенным истощением является актуальным.

В настоящее время одним из наиболее дорогих и востребованных видов ресурсов являются энергетические. Рост производства товаров и услуг, наличие большого количества технологических устройств для работы и отдыха, а также рост требований к комфортной жизни способствуют росту потребления электроэнергии. Даже кондиционирование и лифтовое хозяйство также зависит от электричества. Это подтверждает динамика потребления электроэнергии в России представлена на рисунке 1 [2].

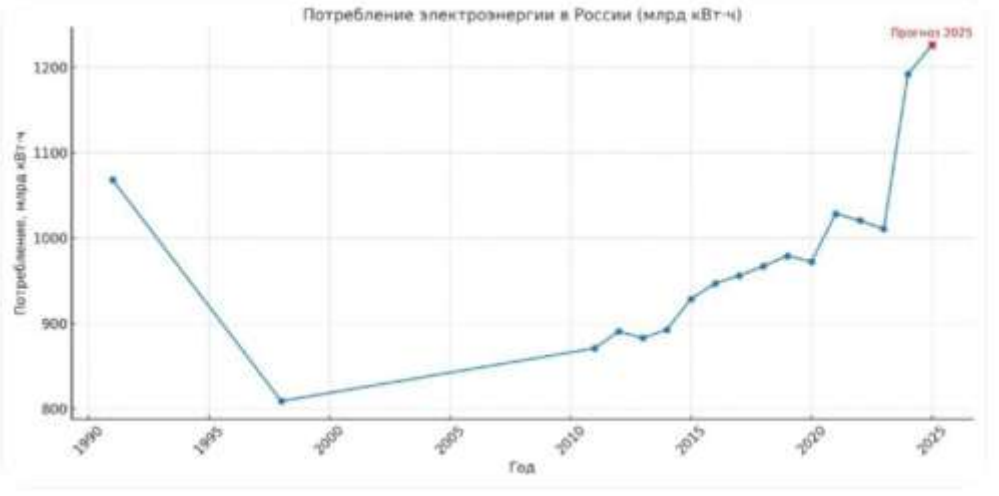


Рисунок 1 – Динамика потребления электроэнергии в России

В частности, с постковидного 2023 года отмечается значительный рост потребления, которое продолжит расти и в будущем.

Исторически сложилось несколько видов производства электроэнергии: тепловые электростанции, работающие на угле или мазуте, атомные электростанции и гидроэлектростанции.

Рост потребления электричества и индустриализация большинства производств на территории РФ привели к необходимости выработки большего количества электроэнергии. Поскольку практически все

они строились в советское время, мощности в них закладывались согласно имеющимся прогнозам. Технологии тогда не были настолько широко развиты, что некоторого оборудования тогда и в помине не было. Отсюда рост производства электричества на имеющихся мощностях приближается к предельно допустимому. При этом в последнее время активно производится переоборудование и реконструкция имеющихся электростанций. Но все же, экстенсивное использование ресурсов чревато ростом выбросов углекислого газа и может спровоцировать аварийные ситуации.

Тем не менее, современные технологии позволяют использовать альтернативные источники энергии, однако их доля по состоянию на конец 2025 года в общем объеме выработки электричества незначительна. В частности, на современном этапе в России ТЭС (65,2 %), ГЭС (19,0 %), АЭС (13,0 %), ВЭС (1,6 %), СЭС (1,2 %) [4]. Отмечается и географическая неравномерность выработки электроэнергии, которая представлена на рисунке 2.

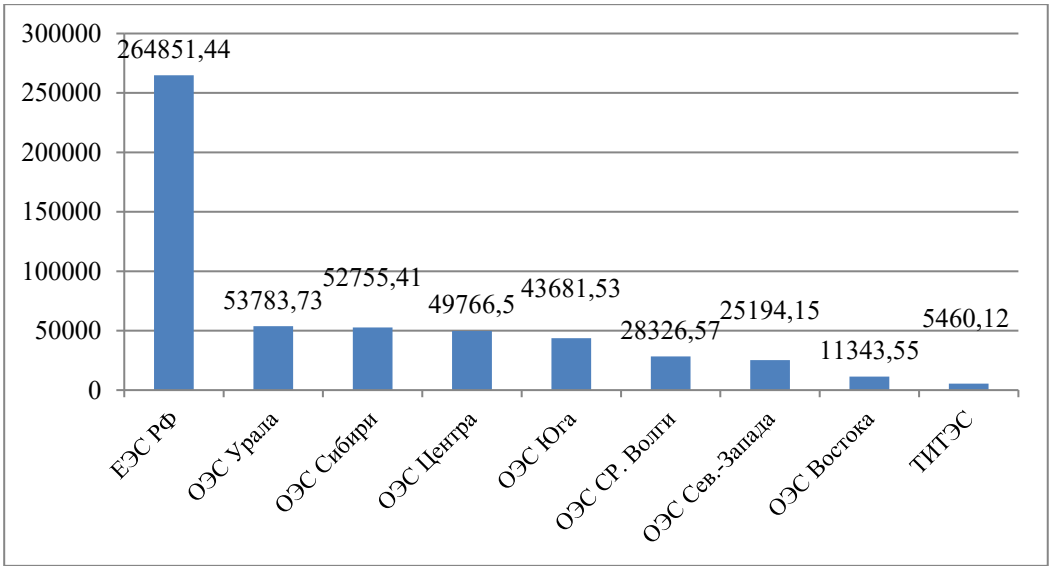


Рисунок 2 – Структура установленной мощности электростанций на конец 2025 года, МВт.

Таким образом, самое максимальное количество выработанной электроэнергии приходится на Объединенную энергосистему Урала, Сибири и Центра. Южный регион занимает по объемам 4 место. При этом он имеет немного иную структуру выработки электроэнергии. На ТЭЦ приходится 49,3 %, на АЭС – 23,1 %, на ГЭС – 14,9 %, ветряные электростанции занимают долю в 8,5 %, а солнечные – 4,2 %. Последние показатели являются максимальными для всей страны.

Это связано с уникальным географическим местоположением региона и климатическими особенностями. В частности: обилие солнечных дней в течении года (для Краснодарского края их число составляет порядка 260 дней в году, для Ростовской области – 190 дней). Ветреный период тоже довольно длительный. Для Краснодарского края – порядка 5 месяцев, со средней силой ветра 14,7 км/ч, а в Ростовской области – около месяца со скоростью 15 км/ч.

Следовательно, для большинства строящихся и уже построенных зданий появилась возможность экономить на ресурсах в процессе эксплуатации.

С этой целью авторами статьи был выполнен расчёт возможности использования солнечной батареи для многоквартирного жилого дома с использованием вырабатываемой энергии для собственных нужд.

В качестве объекта был выбран многоквартирный 16-ти этажный жилой дом, находящийся в городе Новороссийске Краснодарского края [1]. Проектом дома предусмотрено наличие технического этажа в верхней части здания. Кровля плоская, неэксплуатируемая. По краям крыши устроен парапет из монолитного бетона высотой 1 метр с отделкой декоративной штукатуркой и металлические ограждения сверху высотой 0,3 метра.

Авторами исследования было предложено смонтировать конструкции солнечных батарей на стены и парапет с внешней стороны здания. Это позволит сохранить пространство кровли от излишних громоздких конструкций и сохранит возможность прохода по ней для ремонтных работ.

Расчёты показали, что для эксплуатации лифтового оборудования и освящения лестничных клеток, а также холлов этажей ежегодно потребуется 1200 кВт-ч в год. В сутки потребуется выработки на 3,5 кВт-ч.

В интернете пестрят количество предложений о продаже и монтаже конструкций солнечных батарей на любой кошелек и требуемую мощность в сутки.

В качестве объекта монтажа выбрана электростанция, вырабатывающая 1 кВт, как самый подходящий по мощности. Следует также иметь в виду, что место установки – кровля многоэтажного дома, расположенного в Краснодарском крае, где 71 % годового времени приходится на солнечные дни.

Сетевая солнечная электростанция SOFAR 1 кВт предназначена для использования совместно с городской сетью. Среднегодовая выработка данной электростанции составит до 1,3 МВт*ч/год [5], что соответствует годовым потребностям ОКС с запасом мощности 25 %.

В стоимости вложений учтены материалы продавца: солнечные панели 2 штуки, держатели тока, аккумулятор, предохранители и т.п., а также стоимость монтажа оборудования, что по данным продавца составляет 20 % стоимости оборудования.

Исходя из этого, авторами статьи был выполнен расчёт эффективности его установки. Эффект достигался путем экономии расходов на электроэнергию за счёт использования солнечной энергии для обслуживания собственных потребностей здания. При этом ежегодная стоимость электроэнергии была индексирована на величину инфляции, согласно прогнозу Минэкономразвития РФ. Результаты расчётов приедены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Расчёт окупаемости внедрения альтернативного источника энергии в многоквартирном доме

Из рисунка видно, что срок окупаемости составит 7 с половиной лет. Что, значительно превышает рекомендованные значения. При этом продавцом гарантирован срок службы оборудования в 20 лет. Отсюда можно сделать вывод, что пассивная экономия жителей подъезда за рассматриваемый период будет достаточно высокой.

Это пример показывает, что опыт установки солнечных батарей можно использовать и в частных жилых домах, где нет такого большого количества собственников, и для небольших коммерческих организаций, имеющих отдельно стоящее офисное здание в собственности или аренде.

Для чистоты эксперимента авторами был выполнен расчёт стоимости использования альтернативных источников энергии для индивидуального жилого дома.

В качестве объекта исследования был выбран индивидуальный жилой дом, расположенный в городе Новороссийске. Для этого объекта был проведен расчёт стоимости установки и эксплуатации двух видов источников электричества – солнечной и ветровой и выявлен эффект от эксплуатации каждого варианта [3].

Местоположение и характеристики ИЖС позволяют избежать бюрократических решении в части устройства дополнительного оборудования, а также безопасно установить конструкции для каждого варианта альтернативных источников электроэнергии.

С этой целью били проанализированы объёмы потребления электроэнергии для проживающей в этом доме семьи из трех человек в течении года и рассчитана стоимость оборудования и монтажа солнечных батарей и портативного ветряного генератора, который можно установить на крыше жилого

дома.

В результате сравнения двух вариантов при полном отказе от использования сетевой энергии, окупаемость ветрогенератора получилась быстрее (на 15й год эксплуатации), чем у солнечной батареи (на 16й). Сравнительный расчёт стоимости 1 кВт-часа представлен в таблице 1 [3].

Таблица 1

Сравнительный анализ вариантов альтернативных источников питания для индивидуального жилого дома

Показатель	Солнечные батареи	Ветрогенератор	НЭСК
Цена установки, руб.	44 300	150 000	0
Срок эксплуатации, лет	25	22,5	-
Стоимость обслуживания в год, руб.	1200	5000	0
Итого расходы на весь период эксплуатации, руб.	74 300	250 000	-
Выработка в среднем в сутки, кВт*ч	3,018	9,6	-
Выработка в среднем в год, кВт*ч	1102	3504	-
Расходы на 1 кВт*ч, руб.	2,70	3,17	7,11

Из таблицы видно, что экономический эффект от эксплуатации солнечных батарей выше, чем от ветряных источников энергоснабжения. При этом стоимость 1 кВт*ч от электрической сети значительно превышает расчётные выше показатели.

Таким образом, в рассматриваемом регионе вполне можно использовать альтернативные источники энергии. Однако необходимо понимать все риски, связанные с недополучением энергии из-за пасмурной, безветренной погоды или поломкой оборудования. Кроме того, необходимо понимать – где стоит ОКС – в низине, где ограничено влияние погодных условий, или на возвышенности.

Подобные вычисления для коммерческих организаций авторами не производились в связи с большим количеством индивидуальных факторов: спецификой производства, местоположением, наличием собственного здания или помещения, где можно установить оборудование, а также бюрократическими проблемами.

Однако при индивидуальном подходе возможно использование описываемых источников электроснабжения, что может привести к значительной экономии средств.

Список использованных источников

1. Алексеева О.В., Щулико Е.В. // К вопросу об оценке эффективности использования оборудования солнечной энергетики в Краснодарском крае Естественно-гуманитарные исследования. - № 43 (5), 2022. – С. 22-27

2. Динамика потребления электроэнергии в России. [Электронный ресурс] URL: https://dzen.ru/a/aJJysLdqmml0tJMz?sso_failed=blocked&uuid=f941771f-c7ff-46b2-8817-45f219eb0a5f

3. Ляшенко Л.Ю., Галкин М.С. // Перспектива использования альтернативных источников энергии в Краснодарском крае, Энергетические системы - № 3, 010, 2024. – С. 96-100

4. Отчёт о функционировании ЕЭС в России в 2025 году. [Электронный ресурс] URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2026/ups_rep2025.pdf

5. Сетевая солнечная электростанция [Электронный ресурс] URL: https://sv-synergy.ru/magazin/product/setevaya-solnechnaya-elektrostantsiya-1-kvt-sofar

УДК 621.577.6
44.09.35: Вторичные энергоресурсы

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ СНЕГОТАЯНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ г. МОСКВЫ

Васильев Григорий Петрович
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)», Главный научный сотрудник лаборатории «Инновационные технологии энергоэффективности» Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (ФГБУ «НИИСФ РААСН»); Научный руководитель ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»
e-mail: gpvassiliev@mail.ru

Дмитриев Александр Николаевич
доктор техн. наук, профессор, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
e-mail: alexander.dmitriev@inbox.ru

Горнов Виктор Федорович
заведующий лабораторией "Инновационные технологии энергоэффективности", Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (ФГБУ «НИИСФ РААСН»); Директор проектного отделения ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»
e-mail: gornov@niisf.ru

Колесова Марина Владимировна
старший научный сотрудник лаборатории «Инновационные технологии энергоэффективности» Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (ФГБУ «НИИСФ РААСН»); Заместитель генерального директора по устойчивому развитию ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»
e-mail: eco-insolar@mail.ru

Лесков Виталий Александрович
старший научный сотрудник лаборатории «Инновационные технологии энергоэффективности» Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (ФГБУ «НИИСФ РААСН»); Генеральный директор ООО «ИНСОЛАР-ЭНЕРГО»
e-mail: insolar-lv@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты численных экспериментов по определению эффективных температурных диапазонов и режимов эксплуатации теплонасосных систем снеготаяния (ТСС) в климатических условиях г. Москвы. На основе анализа метеоданных типового климатического года определены средневзвешенные температуры наружного воздуха при снегопадах. Выполнено численное моделирование теплового режима ТСС, использующих низкопотенциальное тепло атмосферного воздуха в комбинации с теплом грунта. Установлены оптимальные температуры переключения источников тепла и значения коэффициентов трансформации энергии.

Ключевые слова: теплонасосные системы снеготаяния, типовой климатический год, коэффициент трансформации энергии, гибридные системы, снегопады.

Введение.

Проблема содержания транспортных и пешеходных поверхностей в зимний период является актуальной для регионов с продолжительными холодными зимами. Традиционные методы уборки снега с применением противогололедных реагентов и механических средств наносят значительный вред окружающей среде, дорожным покрытиям и городской инфраструктуре. Альтернативным решением являются теплонасосные системы снеготаяния (ТСС), которые обеспечивают автоматическое удаление снега за счет подогрева поверхности с использованием возобновляемых источников энергии [1]. Международные подходы к проектированию систем снеготаяния представлены в руководстве ASHRAE [2]. Современный обзор технологий теплонасосного снеготаяния представлен в работе [3]. Вопросы

энергосбережения в системах теплоснабжения подробно рассмотрены в работе [4].

Для проектирования ТСС необходимо располагать расчетными климатическими параметрами: средневзвешенными температурами наружного воздуха при снегопадах, интенсивностью осадков, продолжительностью снежного периода. Кроме того, важно определить энергетические характеристики системы, требуемую тепловую мощность и оптимальные режимы эксплуатации при различных температурных условиях. Особый интерес представляет возможность применения гибридных теплонасосных систем, использующих комбинацию низкопотенциального тепла атмосферного воздуха и грунта [5].

Целью настоящей работы является определение расчетных температурных параметров для проектирования ТСС в климатических условиях г. Москвы, оценка энергетических нагрузок и исследование эффективности гибридных ТСС при различных температурах переключения источников низкопотенциального тепла.

Предмет и методы исследования.

Исследования базировались на почасовых данных типового климатического года по количеству осадков и температуре наружного воздуха для г. Москвы [6], сформированного с помощью программного комплекса «StroyClimate» (свидетельство о государственной регистрации №2024616480) [7]. В основу расчетов были положены трехчасовые метеоданные по осадкам и температуре наружного воздуха по станции ВДНХ за 1991-2023 годы.

Формирование типового года состоит из выбора «лучшего» месяца по интегральному распределению температуры и влажности многолетних наблюдений и «сшивке» почасовых значений в начале и в конце отобранных месяцев для обеспечения гладкого перехода при их соединении. Расчеты проводились при помощи метода Финкельштейна-Шафера. Для каждого календарного месяца определялась кумулятивная функция распределения среднесуточных значений климатического параметра, после чего рассчитывался ранг статистики FS(p,y,m) для каждого года набора данных. Месяцы первого ранга выбирались в качестве типовых и соединялись с применением сглаживающей функции для обеспечения гладкого перехода на стыках.

Средневзвешенная температура наружного воздуха при снегопаде вычислялась по формуле:

$$t_{\text{ср.вз.}} = \frac{\sum w_i \cdot t_i}{\sum w_i} = \frac{(-3{,}8 \cdot 0{,}2 - 2{,}9 \cdot 2{,}3 - 1{,}9 \cdot 1{,}8 - 5{,}6 \cdot 1{,}0 - 4{,}4 \cdot 1{,}0)}{(0{,}2 + 2{,}3 + 1{,}8 + 1{,}0 + 1{,}0)} = -3{,}3\ ℃$$

где t_i – температура наружного воздуха при снегопаде, °С; w_i– количество выпавших осадков за 3 часа, мм вод. столба.

Расчеты выполнялись в двух вариантах: вариант 1 – только при отрицательных температурах (снегопад); вариант 2 – при положительных и отрицательных температурах (снегопад и смешанные осадки).

Численное моделирование теплового режима ТСС производилось с помощью программного комплекса «HEAT PUMP Hybrid» (свидетельство о государственной регистрации №2022618072) [8]. Моделировалась ТСС с обогреваемой площадкой 15 кв. м, оснащенная теплонасосной установкой с электрической мощностью привода 2,6 кВт и одной термоскважиной глубиной 80 м и диаметром 0,08 м. Серия численных экспериментов включала базовый вариант (только воздух) и три гибридных варианта с переключением воздуха на грунт при температурах минус 10, минус 5 и минус 2 °С [3-4].

Результаты.

Анализ метеоданных за 30-летний период (1991-2020 гг.) позволил определить средневзвешенные температуры наружного воздуха при снегопадах для зимних месяцев. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Количество осадков и средневзвешенные значения температуры наружного воздуха при снегопаде за 1991-2020 гг.

Месяц	Осадки, мм (вар. 1)	Темп., °С (вар. 1)	Осадки, мм (вар. 2)	Темп., °С (вар. 2)
Январь	36,6	-6,0	53,1	-3,7
Февраль	29,4	-6,1	43,9	-3,7
Март	17,6	-3,5	38,9	-1,0
Декабрь	32,2	-5,1	50,9	-2,5
Среднее	**29,0**	**-5,2**	**46,7**	**-2,7**

Из табл. 1 видно, что средневзвешенная температура при снегопадах (вариант 1) составляет минус

5,2 °С, а при учете смешанных осадков (вариант 2) – минус 2,7 °С. Наиболее холодные снегопады характерны для января и февраля, а наиболее теплые – для марта. Среднемесячное количество осадков при снегопаде существенно возрастает при учете смешанных осадков (с 29,0 до 46,7 мм).

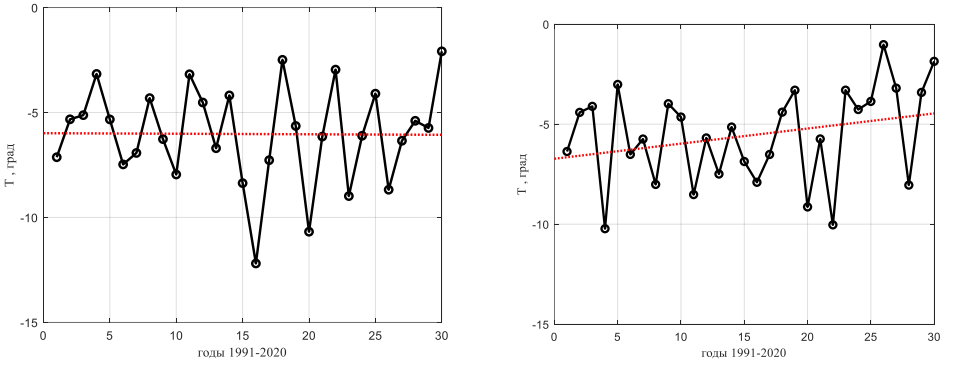


Рисунок 1 – Результаты расчетов температуры наружного воздуха при снегопаде в январе (слева) и феврале (справа) с 1991 по 2020 гг.

Анализ трендов (рисунок 1) показал увеличение температуры наружного воздуха при снегопадах в декабре (0,101 °С/год) и феврале (0,076 °С/год) за период 1991–2020 гг., что свидетельствует о потеплении климата в зимние месяцы. В марте и январе наблюдались менее выраженные тренды (тренд понижения температуры на -0,035 град/год, в январе на -0,0026 град/год).

Для оценки энергетических параметров ТСС были выполнены расчеты требуемой тепловой мощности при различных условиях. Результаты моделирования теплового режима обогреваемой площадки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние шага греющих трубок и температуры конденсации на удельную тепловую мощность ТСС

№	Шаг трубы, мм	Т1/Т2, °С	ΔТ, °С	Т пов., °С	Q, Вт/м²
1	250	55/35	20	5,7	301,0
2	250	55/40	15	6,6	313,7
3	200	55/35	20	6,5	312,9
4	200	55/40	15	7,4	326,2

Из таблицы 2 следует, что удельная тепловая мощность ТСС при температуре наружного воздуха минус 15 °С и скорости ветра 2,4 м/с находится в диапазоне 301-326 Вт/м² в зависимости от шага трубок и температурного перепада. Уменьшение шага трубок с 250 до 200 мм увеличивает температуру поверхности площадки на 0,8 °С, но при этом возрастает и полная удельная мощность. Тепловые потери в грунт составляют 8-9% от полезной мощности, что подтверждает возможность отказа от теплоизоляционного слоя под греющими трубками.

Расчеты показали, что для предотвращения накопления снега при интенсивности снегопада 1,5 кг/(м²·ч) и температуре минус 15 °С требуемая мощность составляет 240 Вт/м². Для таяния 10 см снежного покрова (плотность 300 кг/м³) за 12 часов необходима мощность 302 Вт/м². Время таяния существенно зависит от плотности снега: при плотности 200 кг/м³ и высоте покрова 5 см – 28 мин, при плотности 600 кг/м³ – 69 мин, при плотности 900 кг/м³ (лед) – 99 мин.

Результаты численных экспериментов по моделированию гибридной ТСС представлены на рисунке 2 и в таблице 3. Базовый вариант предусматривал использование только тепла атмосферного воздуха с поддержанием температуры поверхности площадки +5 °С в течение всего зимнего сезона. В гибридных вариантах моделировалось переключение с воздуха на грунт при различных температурах.

Из табл. 3 следует, что даже при работе только от атмосферного воздуха среднемесячное значение СОР в наиболее холодные месяцы (январь-февраль) не опускается ниже 2,83, а среднее за сезон составляет 2,98. С учетом затрат энергии на оттайку испарителя эти значения следует уменьшить на 10%. Переключение на грунт при температуре минус 2 °С обеспечивает наибольший прирост СОР - до 3,10–3,35.

Суммарное потребление электроэнергии за зимний сезон составляет 5328 кВт·ч для базового варианта. При переключении на грунт при минус 2 °С потребление снижается до 4946 кВт·ч (экономия 7,2%), при минус 5 °С - до 5105 кВт·ч (4,2%), при минус 10 °С - до 5299 кВт·ч (0,5%). Максимальная помесячная экономия достигает 11,8% в декабре при переключении на грунт при температуре минус 2

°С.

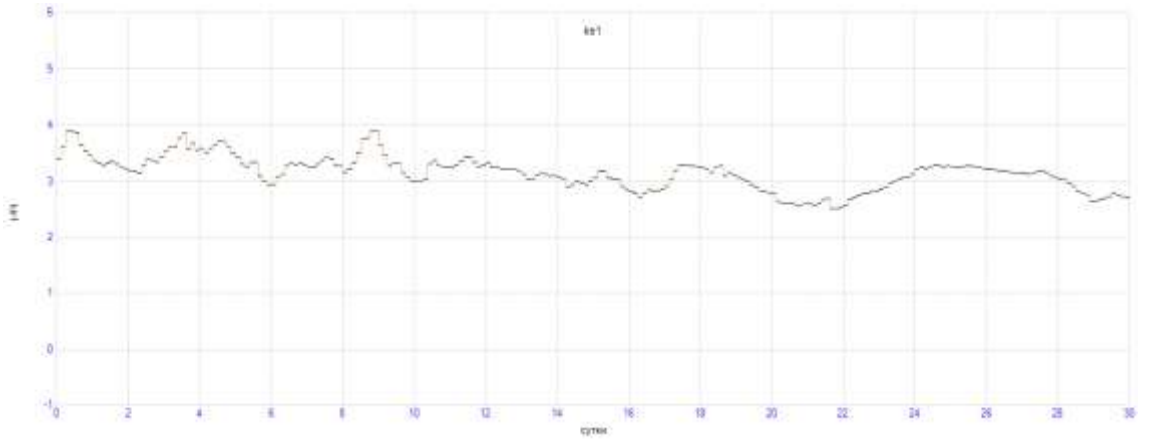


Рисунок 2 – Коэффициент трансформации энергии ТСС в ноябре (базовый вариант)

Таблица 3

Среднемесячные значения коэффициента трансформации энергии ТСС

Вариант	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Базовый (воздух)	3,14	2,92	2,83	2,83	3,14
Перекл. –2 °С	3,35	3,31	3,10	3,20	3,26
Перекл. –5 °С	3,28	3,16	3,09	3,07	3,20
Перекл. –10 °С	3,20	3,07	3,03	3,04	3,17

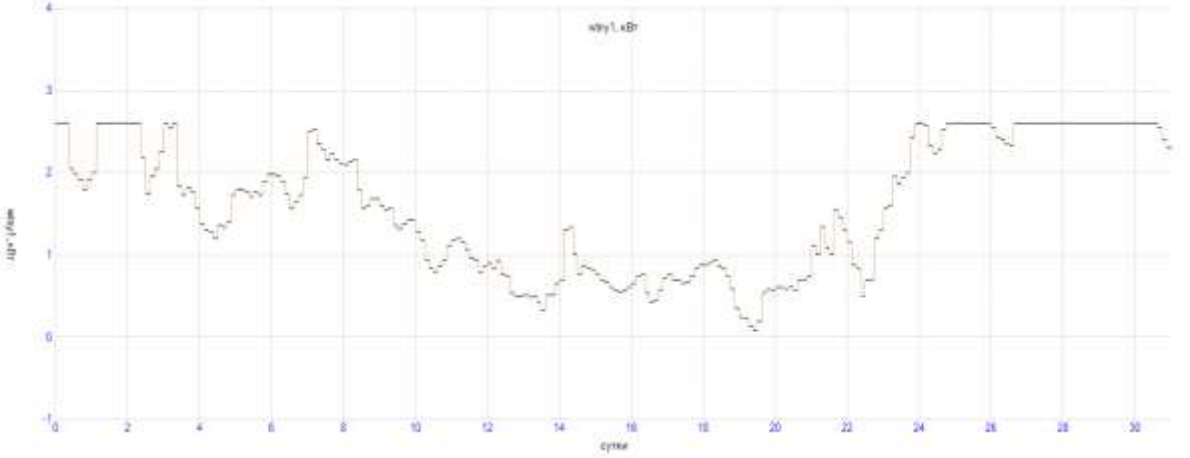


Рисунок 3 – Коэффициент трансформации энергии ТСС в январе (базовый вариант)

Графики изменения СОР (рисунок 2, 3) показывают, что коэффициент трансформации энергии существенно зависит от температуры наружного воздуха и изменяется в широком диапазоне в течение месяца. В периоды оттепелей СОР возрастает до 4,0-5,0, а при понижении температуры до минус 15–20 °С снижается до 2,0-2,5. Применение гибридной схемы позволяет сгладить эти колебания и обеспечить более стабильную работу системы.

Режим постоянного поддержания температуры поверхности +5 °С является достаточно жестким и энергозатратным. Он может быть рекомендован для объектов 1-й категории надежности, таких как взлетно-посадочные полосы аэродромов, ответственные участки автодорог и мостовых переходов. Для менее ответственных объектов возможно применение более экономичных режимов: включение ТСС только при снегопаде, снижение температуры поверхности до +2-3 °С, отключение при температурах ниже минус 10 °С с переходом на прямой электронагрев.

Заключение.

1. Для проектирования ТСС, использующих низкопотенциальное тепло атмосферного воздуха в климатических условиях г. Москвы, расчетная средневзвешенная температура наружного воздуха при

снегопадах составляет минус 5,2 °С (при отрицательных температурах) и минус 2,7 °С (при учете смешанных осадков). Расчетная удельная тепловая мощность ТСС – 240-302 Вт/м² в зависимости от режима эксплуатации.

2. Использование атмосферного воздуха в качестве источника низкопотенциального тепла для ТСС ограничено температурой минус 10 °С, ниже которой целесообразен переход на геотермальный источник тепла (гибридный режим) или прямой электронагрев.

3. Ожидаемые значения COP при эксплуатации ТСС составляют: около 3,1 при температуре воздуха 0 °С; около 2,0 при минус 10 °С (работа от воздуха); около 3,0 при переходе на грунт при температуре ниже минус 2 °С. Все значения приведены с учетом затрат энергии на оттайку испарителя.

4. Применение гибридной технологии (воздух/грунт) с точкой переключения при минус 2 °С позволяет снизить потребление электроэнергии за зимний сезон на 7-12% по сравнению с базовым вариантом, что подтверждает целесообразность комбинированного использования источников низкопотенциального тепла для ТСС.

5. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ТСС для обогрева пешеходных зон, автомобильных дорог, мостовых переходов и взлетно-посадочных полос аэродромов в климатических условиях г. Москвы и регионов со сходными климатическими характеристиками.

Список использованных источников

1. Васильев, Г.П. Теплонасосные системы снеготаяния / Г.П. Васильев // Энергосбережение. – 2019. – № 3. – С. 24–30.

2. ASHRAE Handbook – HVAC Applications. Chapter 51: Snow Melting and Freeze Protection. – Atlanta: ASHRAE, 2019.

3. Рей, Д. Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайкл; пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

4. Богуславский, Л.Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха / Л.Д. Богуславский. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.

5. Liu, X. Heat pump technology for snow melting on pavement: a review / X. Liu, S. Rees // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – Vol. 134.

6. СП 131.13330.2025. Строительная климатология. – М.: Минстрой России, 2025.

7. Программный комплекс «StroyClimate»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024616480 / Российская Федерация.

8. Программный комплекс «HEAT PUMP Hybrid»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022618072 / Российская Федерация.

УДК 66.042.945
61.53.19 Газификация

РАССМОТРЕНИЕ ВОПРОСОВ ПРОКЛАДКИ ГАЗОПРОВОДОВ В УСЛОВИИ СТЕСНЕННОСТИ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Ефимова Светлана Валерьевна
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, магистрант, e-mail: svetlana.spb@bk.ru

Развитие газотранспортной системы Российской Федерации охватывает широкий географический диапазон нашей страны и все чаще затрагивает высокогорные районы. В условиях высокогорья не только проживает население, но и развиваются промышленный объекты. Особенно важно в данных условиях обеспечить надежную подачу газа для отопления, технологических нужд производств и поддержания развития регионов. При этом особые условия строительства и эксплуатации газопроводов в горных районах связаны как с природными, так и с техногенными рисками. Лавиноопасные участки, крутые склоны, высокая сейсмичность значительно осложняют выбор коридоров прокладки сети и усложняют конструктивные решения.

Высокогорные районы Российской Федерации характеризуется не только сложными природными явлениями, связанными с резкими перепадами температур, сильными ветрами и сезонными изменением русел горных рек, но и ограниченной доступностью территорий. Все перечисленные условия требуют особого подхода к проектированию линейной части трубопроводов, разработке инженерной защиты и рассмотрения вопросов дальнейшей эксплуатации. Соответственно простое применение удачных

типовых решений для равнинной местности в данном случае не могут обеспечить достаточной надежности система и даже могут оказаться опасными. Поскольку высокогорные районы Российской Федерации как правило являются еще и уникальными экосистемами, а также местное население характеризуется сложной социальной структурой особое внимание следует уделять и этим вопросам. Неверно принятые решения на этапе проектирования могу приводить не только к авариям на трубопроводах и перерывам в газоснабжении, но и к ущербу для экологии и возникновением социального напряжения в местных сообществах.

Сочетание сложного рельефа, резко континентального климата и сейсмической активности напрямую определяют требования к трассировке и конструктивным решениям при проектировании газопроводов. Поскольку в отличии от равнинных территорий, в высокогорье трудно выделить протяженные участки с устойчивым основанием и пологими склонами, это усложняет выбор трассировки. Рельеф местности характеризуется не только крутыми подъемами, пологими долинами, но и участками со скальными основаниями. При пересечении ущелий, оврагов и обрывистых склонов возникает опасность оползней и камнепадов. В данных регионах повсеместно распространены районы, где склоновые процессы активизируются после интенсивных осадков или быстрого таяния снега. Соответственно, при проектировании нужно учитывать устойчивость склонов, возможность обхода опасных участков и размещение сооружений инженерной защиты, а не просто выбирать кратчайшую трассировку. На выбор глубины заложения труб, защиту от замерзания конденсата и организацию строительных работ в короткий теплый период влияют климатические условия регионов. Они характеризуются низкими температурами зимой, большими суточными колебаниями температур и сильной ветровой нагрузкой. Для горных районов характерна повышенная сейсмичность. Проектировщики обязаны учитывать возможные деформации грунта и разрывы по разломам при проявлении сейсмической активности. Это требует специальных решений по компенсации продольных и поперечных перемещений трубопровода. Также дополнительное влияние оказывают высокогорные водотоки. Сезонные паводки и селевые потоки провоцируют размывы берегов, подмыв основания долины рек, что приводит к изменениям русла водотоков. Подобные инциденты в период эксплуатации газопровода приводят не только к необходимости срочных ремонтных работ для устранения аварий, но и к перепроектированию сетей газоснабжения в рамках реконструкции для предотвращения их возникновения.

Однако для расчетов рисков необходимо использовать архивные данные метеонаблюдений, но зачастую они просто отсутствуют в регионах. Оценка рисков, связанных с опасными гидрометеорологическими явлениями, является обязательным этапом проектирования. Основным инструментом оценки выступает анализ многолетних наблюдений, который позволяет определить интенсивность и повторяемость событий. При этом на практике проектировщики сталкиваются с распространённой проблемой: метеорологическая сеть во многих регионах недостаточно плотно охватывает опасные районы, а архивы данных за прошедшие десятилетия часто неполные или отсутствуют. Особенно это распространено в труднодоступных зонах. Данная ситуация создает серьёзные барьеры для точного расчета вероятности ущерба.

В совокупности климатогеографические факторы формируют особые условия, которые связывают общую цель исследования с последующим рассмотрением инженерных и технических вопросов проектирования газопроводов в горах. Особое значение имеют отводы от крупных магистралей, которые обеспечивают газоснабжение труднодоступных высокогорных поселков. На таких участках трасса газопровода нередко прокладывается вдоль ущелий и крутых склонов, что требует максимального учета локальных геологических и климатических условий. К примеру, на ряде высокогорных газопроводов приходилось переносить трассу из русла рек на склоны, чтобы снизить риск подмыва, но при этом появлялись риски повреждений надземного газопровода, связанные с оползневыми процессами. А иногда наоборот приходилось переносить трассу в долину водотока и предусматривать прокладку газопровода на опорах с применением инженерной защиты опор от корчехода в паводки, так как размещение газопровода на склонах не представлялось возможным из-за их крутости и наличия зон с особыми условиями использования. При этом возможность подземной прокладки, как правило, сильно ограничена наличием скальных грунтов на глубине, не подвергаемой размывам дна водотоков. В ранее реализованных проектах при дальнейшей эксплуатации чаще всего происходят аварии, связанные с повреждением надземных газопроводов при сходе селей, камнепадах и подмывах берегов рек при паводках. При подземной прокладке газопроводов такие проблемы возникают значительно реже.

Сложности выбора трассы газопровода, с учетом множества факторов являются основными на этапе проектирования. Именно от того насколько подробно и точно было выполнено предпроектное обследование, насколько детально были проанализированы все исходные данные, насколько

досконально была проведена работа с местными эксплуатирующими газопроводы компаниями зависит объем проектирования, сложность выполнения строительно-монтажных работ и безопасность дальнейшей эксплуатации. Необходимо учитывать весь объем факторов не только сложных климатических и геологических условий, но и особенности уклада жизни местного населения и социально-экономические аспекты. Без должного внимания к вышеперечисленным вопросам невозможно представить себе успешного завершения проекта.



Рисунок 1. Прокладка газопровода высокого давления 1 категории в русле р.Теберда. Карачаево-Черкесская республика

В горных районах прокладка газопровода зачастую возможна только подземным способом вдоль автомобильных дорог, так как рельеф местности и гидрометеорологические условия не дают возможности выбора иной трасы. В соответствии с СП 62.13330.2011* (пп. 5.1.1, 5.5.1), наружные подземные газопроводы следует размещать по отношению к зданиям, сооружениям и сетям инженерно-технического обеспечения в соответствии с приложением В. Согласно приложению В СП 62.13330.2011* минимальное расстояние от магистральных улиц и дорог должно составлять не менее 2,5 м по горизонтали. Данные требования в условиях высокогорья и ограниченности возможностей для прокладки трубопроводов не всегда возможно выдержать. В нормативной документации указано, что в стесненных условиях допускается прокладка газопроводов всех давлений под автомобильными дорогами всех категорий и бортовыми камнями при условии глубины прокладки от низа дорожной конструкции не менее чем на 1,0 м до верха футляра с заключением газопровода в футляр и выполнения мероприятий, исключающих повреждение конструктивных элементов этих дорог и улиц. Однако, когда дорога, по условиям рельефа, имеет извилистую траекторию и проложена зигзагами с поворотами, в том числе крутоизогнутыми, практически невозможно выдержать требование нормативных документов – обеспечить наличие футляра на всех участках газопровода, находящихся в стеснённых условиях. При этом, как и говорилось выше, выбор трассы сильно ограничен как природными условиями, так и наличием зон с особыми условиями использования в районах подлежащих газификации. Таким образом газопроводы в придорожной полосе автомобильной дорогой и/или под автодорогой на углах поворота вынуждено прокладываются без футляров, по согласованию с владельцем автодороги и с использованием для данных участков трассы труб с повышенными характеристиками надежности. При этом при прохождении экспертиз возникают вопросы по необходимости дополнительных расчетов по прочности и надежности газопроводов, дополнительные обоснования для подтверждения возможностей отсутствия возможности прокладки, а также разрабатывать разделы по дальнейшей безопасной эксплуатации.

Сильной стороной уже реализованных проектов стало накопление устойчивых технических решений. Это использование стальных и полиэтиленовых труб повышенной прочности, внедрение противокоррозионных покрытий с высокой адгезией, а также применение анкерных и подпорных конструкций для фиксации трубопровода на крутых склонах и закреплении их положения при подземной прокладке.



Рисунок 2. Предпроектное обследование. Республика Дагестан

Таким образом, существующие проекты газопроводов в горных регионах России демонстрируют, что при грамотном инженерном подходе возможно обеспечить надежную транспортировку газа даже в крайне сложных условиях рельефа и климата. Разработка систем инженерной защиты при проектировании, выполнение рекультивации с посевом автохтонных трав на склонах для их укрепления после окончания строительно-монтажных работ, а так же использование геоматов позволяет сокращать риски обнажения подземных трубопроводов и их дальнейшего повреждения. Накопленный опыт дает основу для формулировки технических решений, которые учитывают комбинацию природных и организационных ограничений.

В дальнейшем, в магистерской квалификационной работе будут рассмотрены вопросы особенностей проведения проектных работ и строительства газопроводов в высокогорных районах Российской Федерации, а также внесены предложения по возможному изменению в нормативной базе требований к проектированию в особых условиях в части применения футляров для прокладки распределительных газопроводов под автомобильными дорогами, с учетом результатов исследований в программном комплексе «Ansys».

Вывод: Основные сложности в развитии системы газоснабжения в горных районах это совокупности факторов климатогеографического и геологического расположения этих районов, а также несовершенство нормативной базы. Для возможности реализации проектов в горных условиях необходим комплексный подход, при котором будут пересматриваться требования к проектированию и разрабатываться индивидуальные проектные решения для различных регионов страны.

Список использованных источников

1. Порываева Алена Витальевна, Малышева Екатерина Максимовна, Куриленко Николай Ильич ГАЗОСНАБЖЕНИЕ РАЙОНОВ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ // Вестник магистратуры. 2024. №10-2 (157). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gazosnabzhenie-rayonov-so-slozhnym-reliefom (дата обращения: 04.05.2026).

2. Свод правил. Газораспределительные системы СНиП 42-01-2002. СП 62.13330.2011, URL: 445888324-SP 62.13330.pdf

3. Шманев Сергей Владимирович Газификация в России: проблемы и перспективы // ЭПП. 2025. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/gazifikatsiya-v-rossii-problemy-i-perspektivy (дата обращения: 04.05.2026)

УДК 658.26
658.261: Производство собственной энергии

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКТОВ ОТХОДЯЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ГАЗОВ КАК ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Кочев Алексей Геннадьевич
ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный архитектурно – строительный университет», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Теплогазоснабжение»
e-mail: kochev.1961@mail.ru

Соколов Михаил Михайлович
ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный архитектурно – строительный университет», кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедры «Теплогазоснабжение»
e-mail: araim1985@list.ru

Кондратюк Александр Олегович
ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный архитектурно – строительный университет», аспирант кафедры «Теплогазоснабжение»
e-mail: sanya0496@gmail.com

При эксплуатации крупных промышленных предприятий повышения энергоэффективности является ключевой задачей, которую необходимо решать, имея на балансе определённые технологические установки. Использования вторичных энергетических ресурсов позволят значительно увеличить энергетические и эксергетические характеристики, механическую работу оборудования, которые могут быть получены в определенных системах[3]. Под вторичными энергоресурсами подразумевают энергетический потенциал продукции, отходов побочных и промежуточных продуктов, образующих в технологических агрегатах (установках, процессах), которые не используются в самом агрегате но могут частично или в полном объеме использованы для генерации тепловой и электрической энергии, создания оптимального микроклимата в зданиях и сооружениях, улучшения технологических процессов для надежной и бесперебойной работы. Все вторичные энергетические ресурсы подразделяются на три основные группы[2]:

- Тепловые вторичные энергетические ресурсы – построены при использовании физической теплоты отходящих газов, горячей воды, пара образованных в силовых установках и при во время технологических циклов;
- Горючие (топливные) – горючие отходы химических, термохимических процессов, горючие газы плавильных печей, отходы в нефте-газо перерабатывающих заводах и установках и целлюлозно – бумажном производстве[9];
- Вторичные энергетические установки избыточного давления – потенциальная энергия газов и жидкостей, покидающих технологические агрегаты с избыточным давлением, которое необходимо снижать перед последующей ступенью использования этих газов и жидкостей или при выбросе их в атмосферу.

Использования дымовых газов как теплоносителя для регенераторов, рекуператоров, тепловых насосов и водогрейных котлов – утилизаторов[5] является наиболее эффективным использованием тепловых вторичных энергетических ресурсов различного оборудования в частности в установках по утилизации жидкостных производственных стоков.

Образования промышленных и хозяйственно бытовых стоков при разработках нефтегазовых месторождений одна из немногих и важных текущих проблем, которая наиболее эффективно решается применением установок огневого (термического) обеззараживанию жидкостных стоков. Данные установки основаны на окислении токсичных и органических соединений, содержащихся в производственных сточных вод, с образованием углекислого газа и водяного пара[6].

Термическое обезвреживания осуществляется прямым (пламенным) и каталитическим окислением [1]. Прямое окисление органических веществ в факеле пламени происходит при температуре от 650-900 ^{0}C. Для преодоления разрыва скорости химических реакций и скоростью процессов тепло- и массообмена физических процессов (подвод окислителя, отвод продуктов сгорания, сообщения тепла) применяют циклонно - вихревые печи. На рисунке 1 представлена двухступенчатая циклонно - вихревая печь, состоящий из предтопка, камеры сжигания. Первая ступень выполняют роль топки. Тангенциально поданные в эту ступень вихревой горелкой[4] первичный воздух и топливо, придя во вращательное движение при помощи дутьевого вентилятора вторичного воздуха, создают пристенный

аксиальный винтовой поток, направленный в сторону пережима, разряжение в печи составляет минус 100 Па. Дойдя до пережима поток с температурой 650 – 900 ^{0}С направляется от пережима к противоположной стене создавая при этом второй ход движения дымовых газов и продуктов утилизации. Подойдя к стене, противоположной пережиму, обратный поток снова меняет свое направление и движется в выходной кольцевой поток, направленный к пережиму и выносящий во вторую ступень продукты сгорания. Указанные аэродинамические особенности создают оптимальные условия для интенсификации тепло- и массообмена и окисления органических продуктов сточных вод. В циклонных камерах удается получить значительное удельное теплонапряжение до 3-4 раз при камерном сжигании топлива [4]. Продукты утилизации и дымовые газы в виде вращающегося вихря поступают во вторую ступень топки, где дополнительно вводятся форсунки для распыления сточных вод. Попадая в кольцевое пространство, образованное раскаленной футеровкой второй ступени и высокотемпературными продуктами сгорания подсвечивающего топлива, дымовые газы и продукты утилизации подвергаются двухстороннему радиационному облучению и вовлекаются в вихревой поток. Благодаря сочетанию этих процессов тепло- и массообмен [7] достигают максимальной активизации, что способствует полному окислению вредных выбросов и продуктов утилизации во второй ступени. Далее уходящие газы направляются в камеру дожигания и в закалочный скруббер, где охлаждается до температуры 290-330 ^{0}С. После охлаждения утилизационные продукты и дымовые газы очищаются в электрофильтре и могут быть использованы как теплоноситель в различных установках.

Основная масса топлива и производственных сточных вод должна выгорать на коротком участке второй ступени печи [8], обеспечивая здесь высокий температурный уровень[1]. Продукты утилизации должны вводится в циклон в высокотемпературную зону (в зону развитого топливного факела) и распределятся равномерно по окружности циклонной печи. Стоки подаются через однофазные форсунки с расходом 22- 25 л/мин с углом распыла 60-90 град. и давлением 1,0 МПа.

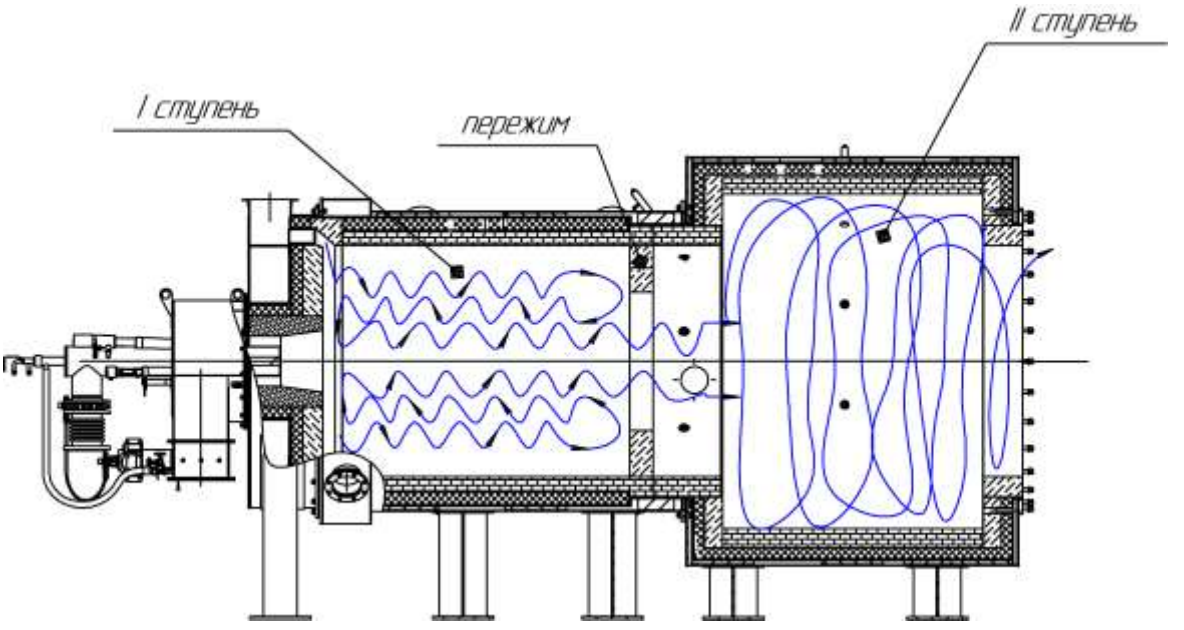


Рисунок 1 - Двухступенчатая циклонно - вихревая печь

Расход топлива, подаваемого в первую ступень циклонно – вихревой печи, определяется из уравнения теплового баланса[2]:

$$Q_ц Q_р^р + \left[VC(T-237)\right]_{П.В} + I^0_{х.воз}\alpha_ц B_ц = B_ц\left[V^0_{П.С} + (\alpha_ц - 1)V^0_{ВЗ}\right]\times \\ \times C''_{П.С}(T'' - 273)(1+\varphi) + \left[VC''(T-273)\right]_{П.В}(1+\varphi) - (BQ_н^р)_{П.В} \quad (1)$$

где $B_ц$ - расход топлива в циклоне, м^3/с или кг/с;

$Q_р^р$ - располагаемое тепло на 1 м^3 газообразного или 1 кг жидкого топлива, кДж/м^3 или кДж/кг;

$[VC(T-273)]_{\text{п.в}}$ - тепло, вносимое в установку промышленными выбросами, кВт;

$I^0_{\text{х.вз}}$ - энтальпия теоретически необходимого количества холодного воздуха для сгорания 1 м^3 газообразного или 1 кг жидкого топлива, кДж/м^3 или кДж/кг;

$V^0_{\text{п.с}}$ - теоретический объем продуктов сгорания 1 м^3 или 1 кг подсвечивающего топлива, м^3/м^3 или м^3/кг;

$V^0_{\text{вз}}$ - теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 м^3 или 1 кг топлива, м^3/м^3 или м^3/кг;

T'' - температура отходящих газов из циклона, К;

$C''_{\text{п.с}}$ - теплоемкость продуктов сгорания при температуре (T'' - 273) кДж/(м^3 · К);

φ - коэффициент, учитывающий потери тепла циклоном в окружающую среду, равен 0,023—0,03;

$[VC''(T-273)]_{\text{п.в}}$ - тепло, уносимое из циклона обезвреженными промышленными выбросами, кВт;

$(BQ^{\text{р}}_{\text{н}})_{\text{п.в}}$ - тепло, выделяющееся в результате сгорания токсичных компонентов в промышленных выбросах, кВт.

Следовательно:

$$B_{ц} = \frac{\left[VC''(T-273)\right]_{П.В}(1+\varphi) - \left[VC(T-273)\right]_{П.В} - (BQ^{p}_{H})_{П.В}}{Q^{p}_{p} + I^{0}_{х.вз}\alpha_{ц} - \left[V^{0}_{П.С} + (\alpha_{ц}-1)V^{0}_{вз}\right]\cdot C''_{П.С}(T''-273)(1+\varphi)} \quad (2)$$

Энтальпия теоретического количества продуктов сгорания определяется выражением:

$$I'_{П.С} = \frac{Q^{p}_{p}}{(1+\frac{\varphi}{2})} = \left[V^{0}_{П.С} + (\alpha_{ц}-1)V^{0}_{вз}\right]C'_{П.С}(T'-273) \quad (3)$$

где $I'_{\text{п.с}}$ - энтальпия теоретического количества продуктов сгорания, м^3 или кг топлива при температуре T', кДж/м^3 или кДж/кг;

T' - температура продуктов сгорания, выходящих из первой ступени, К;

$C'_{\text{п.с}}$ - теплоемкость продуктов сгорания при температуре $(T'-273)$.

Коэффициент избытка воздуха $\alpha_{\text{ц}}$ определяется соотношением:

$$\alpha_{ц} = \frac{Q^{p}_{p}}{(1+\frac{\varphi}{2})C'_{П.С}(T'-273)} - \frac{V^{0}_{П.С} - V^{0}_{вз}}{V^{0}_{вз}} \quad (4)$$

Для обеспечение нормальной работы дымовых газов и продуктов утилизации как теплоносителя необходимо максимально уменьшить запыленность газов и обеспечить нейтрализацию газообразного хлористого водорода (HCl), диоксидов серы (SO_2, SO_3), фтороводородов (HF). Эти газы при определенных условиях вызывают интенсивную коррозию металлических поверхностей нагрева, газоходов, катодов и анодов электрофильтров.

Предварительное обеспыливание снижает нагрузку по взвешенным веществам и механическим примесям на последующих стадиях системы газоочистки. На установках для обезвреживания жидкостных стоков могут использоваться следующие системы обеспыливания[6]:

- электрофильтры;
- циклоны и мультициклоны;
- рукавные фильтры.

Электрофильтры и циклоны эффективны для предварительного обеспыливания и обеспечивают достижения самых низких уровней выбросов в сочетании с другими технологиями.

Рукавные фильтры являются эффективным средством для удаления пыли. Кроме этого, также могут инжектироваться специальные реагенты для создания реагентного слоя на поверхности тканого материала для увеличения эффективности улавливания тяжелых металлов, защиты от коррозии.

Для электрической очистки газов используется коронный разряд, который возникает только в неоднородном электрическом поле при определенной форме электродов и их расположении.

Для питания электрофильтра выпрямленным током высокого напряжения используются электрические агрегаты, преобразующие переменный ток напряжением 380В в постоянный напряжением до 80 кВ. Выпрямленный ток высокого напряжения подводится к электродам электрофильтра по высоковольтному кабелю или с помощью шин, соединяющих коронирующие электроды с агрегатом питания, установленным на крыше электрофильтра или в специальном помещении.

Осадительные электроды электрофильтра присоединяются к положительному полюсу выпрямителя и заземляются, а коронирующие – изолируются от земли и подсоединяются к отрицательному полюсу выпрямителя.

При подаче на электроды тока высокого напряжения между коронирующими и осадительными электродами возникает электрическое поле, напряженность которого можно изменять путем регулирования напряжения питания. При увеличении напряжения до определенной величины в пространстве между электродами образуется коронный разряд, в результате чего возникает направленное движение к электродам заряженных частиц, т.е. между электродами электрофильтра протекает ток.

Когда через межэлектродное пространство электрофильтра пропускают газы, содержащие взвешенные частицы, эти частицы заряжаются движущимися ионами. Заряженные взвешенные частицы под действием электрического поля движутся к электродам и оседают на них, а очищенные газы, пройдя электрическое поле, выходят из электрофильтра. Основная масса взвешенных частиц осаждается на осадительных электродах электрофильтра. Осажденная пыль удаляется с электродов путем их встряхивания. Уловленная пыль осыпается в нижнюю часть электрофильтра (бункеры), откуда ее периодически удаляют.

Применение закалочных скрубберов позволяет охлаждать продукты утилизации с 900-1100 ^{0}C до 290- 300 ^{0}C методом добавления разбавленных сточных вод щелочным реагентом 10-ти % раствора соды, таким образом удаляются HF и HCI. По другой технологической линии возможна дозировка извести или гидроксида натрия и работа происходит при pH от 6,5 до 8 главным образом для удаления SO_2, SO_3[6].

Очищенные от кислых компонентов и пыли дымовые газы проходят каталитический блок где при температуре 300-410 ^{0}C происходит окисление остаточных углеводородов и CO до воды.

Технологические продукты утилизации содержат большой запас физического тепла, представляющий ценный вторичный энергетический ресурс. Это тепло можно использовать в следующих направлениях[2]:

- для технологических целей в разомкнутом регенеративном цикле. При этом продукты утилизации передается в последующие звенья технологического цикла, что улучшает тепловой баланс взаимосвязанных по теплоиспользованию участков цикла и улучшает эффективность установки;

- для технологических целей в замкнутом регенеративном цикле - подогрев компонентов горения (топливного газа, первичного, вторичного воздуха) либо сточных вод, поступающих в технологическую установку. При этом достигается улучшение теплового баланса установки, сгорания продуктов утилизации, являющейся источником вторичных энергоресурсов:

- в разомкнутом энергетическом цикле для нужд теплоснабжения предприятия, при применения котлов – утилизаторов, рекуператоров, регенераторов, для выработки тепловой энергии силовых, технологических, отопительно-вентиляционных установках, холодоснабжения, а также для производства электроэнергии с целью улучшения теплового либо электроэнергетического баланса предприятия в целом.

Таким образом, использования продуктов уходящих газов как теплоносителя зависит от условия образования продуктов сгорания, их химического состава, которые могут в дальнейшем повлиять на эксплуатацию и выбор теплоиспользующих агрегатов, в частности водогрейных котлов-утилизаторов. Как было отмечено уходящих газы в установках по обезвреживанию жидкостных стоков имеют достаточно большой температурный уровень, зависящий от плотности теплового потока при утилизации производственных стоков. Выбор теплоиспользующего оборудования во многом зависит от качества теплоносителя, с учетом того, что теплоноситель выступает в виде дымовых утилизационных газов, которые могли выбрасываться в атмосферу, то их использования в значительной мере создаст энергоэффективнный баланс предприятия.

Список использованных источников

1. Сидельковский Л. Н., Шурыгин А. П. Циклонные энерготехнологические установки. — М. : Госэнергоиздат, 1962. — 80 с.

2. Семененко Н. А., Куперман Л. И., Романовский С. А. и др. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности: Учебник для вузов.— Киев: «Вища школа. Головное изд-во, 1979. — 296 с.—30304. 2301000000.

3. Шанин, Б. В. Энергосбережение и охрана воздушного бассейна при использовании природного газа : учеб. пособие / Б. В. Шанин [и др.]. – Нижний Новгород : [б. и.], 1998. – 356 с. : ил.

4. Белоусов В.Н. Топливо и теория горения: учеб. пособие/ В.Н. Белоусов, В.В Сергеев. – СПб.: Изд-ва Политехн. Ун-та, 2014. – 231 с.
5. https://omk.ru/catalog/boilers/.
6. ИТС 9-2015 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов).- Москва: Бюро НДТ, 2015. – 258 с.
7. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский Государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
8. Королев, Владимир Николаевич. Тепломассообмен : учебно-методическое пособие / В. Н. Королев, С. А. Нейская, А. В. Островская ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. Н. Королева ; М-во науки и высш. образования РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 192 с.
9. Мунц, В. А**.** Горение и газификация органических топлив : учеб. пособие/ В. А. Мунц, Е. Ю. Павлюк. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 148 с.

УДК 697.94
75.31.25: Вентиляция и кондиционирование воздуха

КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АЭРОДИНАМИКИ ВЫТЯЖНЫХ ЗОНТОВ: ОТ АНАЛИЗА РАСЧЕТНЫХ НЕСООТВЕТСТВИЙ К ВНЕДРЕНИЮ ВИХРЕВЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Максимова Наталья Анатольевна,
ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция»
e-mail: n.a.maximova@donnasa.ru

Кляус Богдан Валентинович
ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ, старший преподаватель кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция»
e-mail: b.v.klyaus@donnasa.ru

Введение

Обеспечение благоприятных санитарно-гигиенических условий на производственных объектах является фундаментальной задачей современной инженерной защиты труда. Эффективная система локализации вредных выделений позволяет не только соблюдать нормативные требования по предельно допустимым концентрациям веществ в рабочей зоне, но и существенно снижать нагрузку на окружающую среду. Среди разнообразия технических средств местной вытяжной вентиляции наибольшее распространение получили открытые местные отсосы зонтовой конфигурации. Их повсеместное использование обусловлено конструктивной простотой, удобством монтажа и универсальностью применения в различных отраслях промышленности — от металлургии и гальванического производства до пищевой индустрии и специализированных объектов, таких как культовые сооружения. Однако эксплуатационная надежность таких систем напрямую зависит от корректности инженерных расчетов на стадии проектирования, где на сегодняшний день наблюдается критическая ситуация [2].

Ключевой проблемой современного проектирования является значительная несогласованность существующих инженерных методик расчета. Анализ технической литературы и нормативной базы свидетельствует о том, что применение различных авторитетных источников — будь то классические справочники или современные методические рекомендации — для одних и тех же исходных данных может приводить к расхождениям в определении расхода удаляемого воздуха в 3–4 раза и более [17]. Например, для зонта над источником тепловой мощностью 1 кВт и характерным размером 1 м разброс результатов варьируется от 955 до 4658 м³/ч [1]. Подобная неопределенность создает серьезные риски: занижение производительности ведет к неэффективной локализации вредностей, ухудшению условий труда и нарушению санитарных норм, тогда как завышение расхода воздуха провоцирует необоснованный рост капитальных затрат на увеличение диаметров воздуховодов и мощности вентиляционного оборудования [11].

Особую сложность представляет проектирование для объектов со слабой тепловой конвекцией (удельная мощность источника $q < 15$ Вт/м³), характерной для паяльных постов, окрасочных камер без подогрева или православных храмов. В таких условиях подъемная сила потока недостаточна для

гарантированного попадания вредностей в зонт, и коэффициент улавливания может падать до 60% и ниже, что недопустимо с точки зрения современных стандартов безопасности [7, 9]. Кроме того, классические расчеты зачастую не учитывают воздействие внешних воздушных потоков в помещении (сквозняки, работа приточных систем), которые даже при скорости 0,2…0,3 м/с способны полностью нарушить работу системы локализации [10, 15].

В контексте глобальной тенденции к энергосбережению и устойчивому развитию задача оптимизации конструкции вытяжных зонтов приобретает критическую значимость не только с технической, но и с экономико-экологической точки зрения. Промышленные здания потребляют до 33% всей используемой в производстве энергии, при этом на системы воздухообмена может приходиться до 40% энергобаланса здания [3, 4]. Перерасход воздуха на 20…40% вследствие неоптимального проектирования напрямую увеличивает затраты на электроэнергию для привода вентиляторов и на тепловую энергию для подогрева приточного воздуха в холодный период года [19]. Кроме того, неэффективная работа зонтов ведет к выбросу неочищенных вредных веществ в атмосферу, увеличивая углеродный след промышленности [18]. Поэтому любое снижение объема удаляемого воздуха без потери эффективности локализации ведет к существенной экономии ресурсов и снижению экологической нагрузки.

Проблема несогласованности расчетных методик

Анализ технической литературы свидетельствует о наличии системной проблемы в базовых подходах к расчету вентиляции. Ключевым параметром, определяющим работоспособность системы, является объем удаляемого воздуха. Практика показывает, что существующие нормативные документы и справочные пособия не обеспечивают единого подхода к определению этой величины [17].

Для одного и того же технологического источника тепловыделений расчетные значения расхода могут различаться в несколько раз. Столь существенная дивергенция объясняется следующими факторами:

1. Игнорирование турбулентной диффузии – в зоне между источником и приемным отверстием происходит интенсивное подмешивание чистого воздуха, что изменяет параметры струи, но не учитывается в эмпирических коэффициентах [16].

2. Влияние внешних возмущений – Даже незначительные горизонтальные потоки (сквозняки, работа приточных систем) скоростью 0,2…0,3 м/с способны сорвать конвективный факел, однако стандартные расчеты часто предполагают идеальные условия [10].

3. Произвольный выбор коэффициентов – параметры, учитывающие подвижность воздуха и газовую составляющую, нередко выбираются проектировщиком субъективно [14].

Международные рекомендации также подтверждают сложность задачи. В авторитетном руководстве ACGIH Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice подчеркивается необходимость точного учета геометрии hood, расположения относительно источника и влияния поперечных потоков (cross-drafts), однако отмечается отсутствие полностью универсальных расчетных формул [23].

Физическая модель конвективного потока

Для преодоления ограничений классических формул необходимо опираться на данные экспериментальных исследований структуры восходящих потоков. Работы, выполненные под руководством А.И. Еремкина, позволили детализировать физику процесса [6, 8].

Было установлено, что конвективная струя проходит несколько стадий эволюции:

Пассивный участок непосредственно над источником, где поток только формируется.

Зона «шейки» — критический участок на высоте 400…500 мм от источника, характеризующийся минимальным диаметром струи и максимальной устойчивостью скорости [1, 9].

Участок турбулентного расширения — зона интенсивного перемешивания с окружающей атмосферой.

Размещение приемного отверстия вытяжного устройства на уровне «шейки» обеспечивает наиболее стабильный захват загрязнений. Эмпирические зависимости позволяют определить диаметр этой зоны как

$$d_{шейки} = 0.773 \cdot D_{ист}, \text{ м}, \quad (1)$$

где $D_{ист}$ – диаметр источника, м [8].

Однако даже правильная установка не компенсирует неравномерность поля скоростей во входном сечении стандартного конуса, особенно при углах раскрытия, отличных от оптимальных 60° [12].

Анализ существующих методов повышения эффективности

Вытяжные зонты можно классифицировать по конструктивному исполнению и способу побуждения. Среди пассивных методов выделяют зонты с обратным конусом и кольцевым экраном. Обратный конус формирует равномерный профиль скоростей и повышает коэффициент улавливания на 15…25% [12]. Кольцевой экран снижает подсос чистого воздуха на 18…22% при высоте установки H/D = 0,8 [14].

Активные методы предполагают подвод энергии для управления потоком. Технология Capture Jet™ (компания Halton) снижает расход воздуха на 30…50% при коэффициенте улавливания ≥ 95% за счет вспомогательных струй по периметру [20, 24].

Зарубежный опыт активно развивает вихревые технологии вытяжных устройств.

Авторы [21] предложили Swirl Air Curtain Exhaust Hood (SACEH) – вытяжной зонт с вихревой воздушной завесой, в которой закрученный воздушный поток формирует барьер, существенно улучшающий захват и снижающий подсос окружающего воздуха [21].

Авторы [22] разработали Artificial Vortex Exhaust Device (AVED) – вихревое вытяжное устройство, которое работает по принципу торнадо-подобного вихря. По сравнению с обычным зонтом такое устройство позволяет увеличить расстояние эффективного контроля как минимум в два раза при снижении расхода воздуха более чем в два раза [22].

Эффект Коанда используется в безлопастных системах, где коэффициент «умножающего эффекта» достигает значительных величин [20]. Однако общим ограничением большинства существующих решений является то, что ни один из рассмотренных методов не управляет вихревой структурой потока непосредственно на входе в зонт без активного энергоподвода. Все решения либо выравнивают профиль скоростей (пассивные), либо формируют захватывающую струю извне (активные) [15].

Разработка модернизированной конструкции местного отсоса

Для устранения выявленных недостатков предложено техническое решение, основанное на управлении вихревой структурой потока пассивным способом. Концепция предполагает установку внутри приемного раструба системы спиралевидных насадок.

Конструктивные особенности:

Устройство включает две конические спиральные ленты, вставленные коаксиально одна в другую. Ключевой особенностью является встречное направление закрутки лент (Рисунок 1).

Внешняя спираль: угол конуса 20°, шаг 130 мм, 2,5 оборота.

Внутренняя спираль: угол конуса 10°, шаг 130 мм, 2,5 оборота.

Ширина ленты: 50 мм.



Рисунок 1 – Схема коаксиального размещения встречно закрученных спиральных элементов

Принцип действия:

Проходя через спиральные каналы, воздушный поток закручивается в противоположных направлениях. Это приводит к формированию устойчивого вихревого ядра (Рисунок 2).

С точки зрения аэродинамики, такой эффект обеспечивает:

1. Гироскопическую стабилизацию, когда закрученный поток обладает повышенной инерционностью и устойчивостью к внешним боковым возмущениям [10].

2. Барьерный эффект, где вихревое кольцо минимизирует подсос чистого воздуха с периферии зоны всасывания [18].

3. Выравнивание эпюры скоростей в следствие чего устраняются локальные зоны разрежения, что повышает равномерность улавливания по всему сечению зонта.

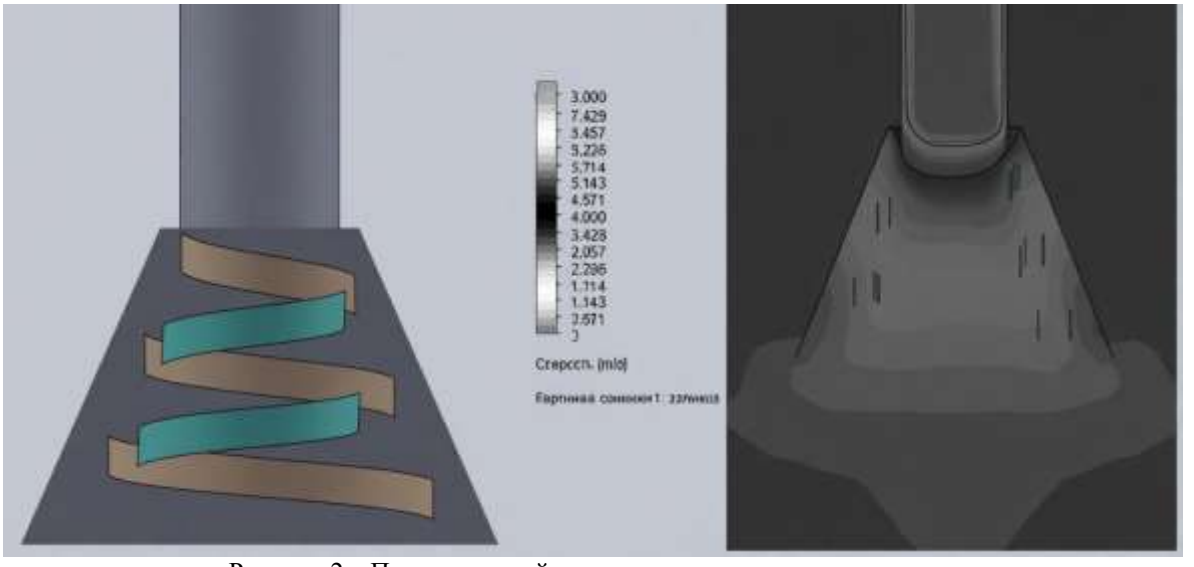


Рисунок 2 – Поле скоростей в поперечном сечении вытяжного зонта

Методология исследования и верификация

Оценка эффективности предложенного решения проводилась комплексным методом, включающим численное моделирование и анализ экспериментальных данных.

Численное моделирование (CFD):

Расчеты выполнялись в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation. Математическая модель базировалась на решении уравнений Навье–Стокса для несжимаемой жидкости с использованием модели турбулентности k–ε. Граничные условия соответствовали реальным параметрам промышленных помещений [10]. Сравнивались две конфигурации: базовый зонт (угол 60°, диаметр 600 мм) и зонт с установленными спиральными стабилизаторами.

Экспериментальная база:

В качестве верификации использовались данные натурных измерений температурных и скоростных полей. В частности, применялась модельная установка с горением церковных свечей, позволяющая получить «чистый» конвективный поток без примесей аэродинамики оборудования [7]. Измерения подтвердили наличие зоны «шейки» и возможность повышения эффективности улавливания до 89% при оптимальном заглублении воздуховода [8].

Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ гидродинамических характеристик выявил существенные преимущества модернизированной конструкции.

Стабильность потока. При наличии бокового воздушного потока скоростью 0,3 м/с стандартный зонт демонстрирует срыв конвективной струи и падение эффективности на 35…40%. Конструкция со спиральными вставками снижает этот показатель до 8%, сохраняя траекторию загрязнений в пределах зоны всасывания [10].

Снижение воздухообмена. Благодаря минимизации подмешивания чистого воздуха, требуемый объем удаляемой смеси уменьшается на 25…30% при сохранении контрольной скорости во входном сечении не менее 0,5 м/с.

Равномерность поля. Коэффициент неравномерности распределения скоростей во входном отверстии снизился с 1,65 до 1,15, что свидетельствует об устранении застойных зон.

Визуализация потоков показала, что встречная закрутка создает плотное вихревое ядро, которое действует как аэродинамический экран, препятствующий рассеиванию вредностей в объеме помещения. Полученные результаты согласуются с зарубежными исследованиями вихревых систем, подтверждающими высокую эффективность swirl- и vortex-технологий [21, 22].

Энергетическая и экономическая эффективность

Внедрение оптимизированных систем вентиляции имеет прямой экономический эффект. Промышленные предприятия потребляют значительную долю энергоресурсов, и системы воздухообмена являются одним из основных потребителей. Перерасход воздуха на 20…40%, характерный для традиционного проектирования, влечет за собой увеличение капитальных вложений и рост эксплуатационных затрат [4, 5].

Сокращение расхода удаляемого воздуха на 25…30% благодаря применению спиральных стабилизаторов позволяет обеспечить окупаемость дополнительных затрат на изготовление конструкции в течение 1–2 лет эксплуатации [4]. Кроме того, снижение объемов выбросов способствует уменьшению экологической нагрузки на атмосферу, что соответствует современным требованиям устойчивого развития и международным стандартам [18, 19].

Не менее важным аспектом является влияние вентиляционной системы на тепловое состояние человека. Особенно это актуально для горячих цехов, где температура может превышать 40°С. В таких условиях правильно организованное движение воздуха является одним из ключевых факторов, обеспечивающих тепловой комфорт и предотвращающих перегрев [13].

Заключение

Проведенное исследование позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Существующие нормативные методики расчета вытяжных зонтов характеризуются критической несогласованностью, что обусловлено упрощенным представлением физики конвективных процессов [17].

2. Ключевым фактором повышения эффективности является учет реальной структуры струи, в частности, размещение всасывающего отверстия в зоне «шейки» (400…500 мм от источника) [1, 9].

3. Предложенная конструкция с встречно закрученными спиральными насадками обеспечивает пассивную стабилизацию потока, повышая коэффициент улавливания даже в условиях слабой конвекции и наличия сквозняков.

4. Интегрированный подход, сочетающий теоретический анализ, CFD-моделирование и экспериментальную верификацию, является наиболее перспективным путем создания энергоэффективных систем вентиляции.

5. Внедрение разработки способствует значительной экономии энергоресурсов и снижению эксплуатационных расходов при сохранении высоких санитарно-гигиенических показателей [3, 4].

Список использованных источников

1. Аверкин А. Г., Еремкин А. И., Орлова Н. А., Пономарева И. К. Методика и программа экспериментальных исследований температурных и скоростных полей в зоне всасывающего отверстия вытяжного зонта // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 4(53). С. 132–139.

2. Боровицкий А. А., Угорова С. В., Тарасенко В. И. Современная промышленная вентиляция: учеб. пособие. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. 59 с.

3. Выборнов Д. В., Кляус Б. В. Проблемы энергосбережения промышленных зданий // Вестник Академии гражданской защиты. 2018. № 4(16). С. 96–102.

4. Выборнов Д. В., Кляус Б. В., Плужник А. В. Анализ потенциала энергосбережения в зданиях промышленного назначения // Энергетические системы. 2018. № 1. С. 141–149.

5. Выборнов Д. В., Кляус Б. В., Плужник А. В. Влияние параметров формирования приточных вентиляционных струй на показатели микроклимата в помещении // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. № 5(139). С. 90–96.

6. Еремкин А. И., Аверкин А. Г., Леонтьев В. А. [и др.]. Теоретические основы и рекомендации по созданию местной вытяжной вентиляции продуктов сгорания свечей в зале богослужения // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 1(46). С. 195–202.

7. Еремкин А. И., Аверкин А. Г., Орлова Н. А. [и др.]. Комплексное решение локализации загрязнений в процессе сгорания церковных свечей в православных сооружениях // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 2(51). С. 104–116.

8. Еремкин А. И., Аверкин А. Г., Орлова Н. А., Пономарева И. К. Теоретические и экспериментальные исследования способов повышения эффективности технического устройства с вытяжным воздуховодом внутри зонта // Региональная архитектура и строительство. 2024. № 3(60). С. 148–162.

9. Еремкин А. И., Пономарева И. К., Мишин А. А., Мочалов А. В. Исследования конвективных потоков в зоне всасывания вытяжного зонта над подсвечником в залах богослужения // Образование и

наука в современном мире. Инновации. 2022. № 5(42). С. 96–101.

10. Захаревич А. Э. Численное моделирование влияния бокового потока воздуха на работу вытяжного зонта // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2015. № 8(164). С. 62–65.

11. Килин П. И., Килин К. П. Промышленная вентиляция: монография. М.: [б. и.], 2010. 340 с.

12. Килин П. И., Рогова Т. Н. Расчет и устройство вытяжных зонтов. Екатеринбург: УрГУПС, 2005. 128 с.

13. Кляус Б. В., Выборнов Д. В., Плужник А. В. Влияние изменений параметров микроклимата рабочей зоны помещений на организм человека // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. № 5(133). С. 26–31.

14. Кочев А. Г. Вентиляция промышленных зданий и сооружений: учеб. пособие. Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2011. 178 с.

15. Пухкал В. А., Панков В. Б. Влияние схемы организации воздухообмена в помещении на эффективность вытяжного зонта // Инженерный вестник Дона. 2020. № 7(67). С. 307–320.

16. Рогова Т. Н. Влияние турбулентной диффузии газов на расчет объемов удаляемого воздуха // Мир транспорта. 2006. Т. 4, № 1(13). С. 16–21.

17. Сурикова Н. С. Особенности расчета вентиляционных вытяжных зонтов // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоэнергоснабжения. 2018. № 1. С. 213–216.

18. Chitaru G. M., Sandu M., Croitoru C. V., Bode F. Local exhaust ventilation solutions for an industrial hall – Part 1 CFD analysis of the local exhaust systems // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 85. P. 02012.

19. Goodfellow H. D. Industrial Ventilation Design Guidebook. Academic Press, 2001. 1519 p.

20. Hasan N. H., Said M. R., Leman A. M. Local exhaust ventilation: past, present and future // AUBER. 2012. Vol. 27, № 1. P. 4–13.

21. Wang P., Feng T., Liu R. Characteristics study of the swirl air curtain exhaust hood // Proceedings of the 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE 2010). Chengdu, China, June 18–20, 2010. IEEE, 2010. DOI: 10.1109/ICBBE.2010.5516594.

22. Cao Z., Wang Y., Duan M., Zhu H. Study of the vortex principle for improving the efficiency of an exhaust ventilation system // Energy and Buildings. 2017. Vol. 142. P. 39–48.

23. ACGIH. Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design. 30th Edition. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2019. 1519 p. ISBN 978-1-60726-108-7.

24. Halton. Capture Jet™ Technology. Official Technical Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://www.halton.com/technology/capture-jet-technology/ (дата обращения: 10.05.2026).

УДК 697:502/504
1.6.7.04: Энергоэффективность и экобезопасность инженерных систем зданий и сооружений. Природоохранные технологии в системах жизнеобеспечения зданий.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Махотлова Маратина Шагировна,
ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, кандидат биологических наук, академический советник РИА, доцент кафедры «Землеустройство и экспертиза недвижимости»
e-mail: m.mahotlova@yandex.ru

Кокоев Мухамед Нургалиевич,
ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х. М. Бербекова, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное производство» института архитектуры, строительства и дизайна, генеральный директор АО «Каббалкагропромстрой», заслуженный строитель РФ, академик РИА

Казиев Валерий Михайлович,
ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, кандидат экономических наук, Ученый секретарь Кабардино-Балкарского Регионального Отделения РИА,
Член корреспондент РИА, доцент кафедры «Землеустройство и экспертиза недвижимости»

Аннотация. Статья посвящена анализу современных инженерных систем жизнеобеспечения (водоснабжения, энергоснабжения, микроклимата и управления отходами) через призму двух ключевых критериев современности – энергоэффективности и экологической безопасности. Рассматривается эволюция этих систем: от простых потребителей ресурсов к сложным, интеллектуальным комплексам, работающим по принципам циркулярной экономики. Авторы подробно разбирают, как внедрение передовых технологий – таких как рекуперация тепла, тепловые насосы, системы рециркуляции воды, умное управление и переработка отходов в энергию – позволяет радикально снижать потребление энергии и воды, минимизировать выбросы CO_2 и экологический след объектов. На основе сравнительных таблиц наглядно продемонстрирован экономический и экологический потенциал модернизации. Делается вывод, что интеграция энергоэффективных и экологически безопасных решений на этапе проектирования перестала быть опцией и стала обязательным условием для создания устойчивой, здоровой и экономически выгодной среды для жизни и работы.

Ключевые слова: инженерные системы жизнеобеспечения, энергоэффективность, экологическая безопасность, ресурсосбережение, управление отходами, водоснабжение и рециркуляция.

Современный мир сталкивается с беспрецедентными вызовами: рост населения, урбанизация, изменение климата и истощение природных ресурсов. В рамках рассматриваемой проблематики инженерные системы жизнеобеспечения становятся важным элементом устойчивого развития общества. Эти системы обеспечивают базовые потребности человека: чистую воду, энергию, комфортный микроклимат, безопасную утилизацию отходов. Однако традиционные подходы к их проектированию и эксплуатации часто приводят к чрезмерному потреблению энергии и негативному воздействию на окружающую среду.

Энергоэффективность и экологическая безопасность перестали быть просто модными терминами – они стали необходимыми критериями при проектировании, строительстве и эксплуатации любых объектов. Внедрение современных технологий в инженерные системы позволяет не только снизить эксплуатационные расходы, но и минимизировать экологический след, создавая более здоровую среду для жизни и работы [3].

Проанализируем основные инженерные системы жизнеобеспечения, формирующие техническую основу любого современного населенного пункта или объекта.

1.СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Современные системы водоснабжения и водоотведения представляют собой интеллектуальные комплексы, интегрирующие передовые технологии очистки, рециркуляции и умного управления

потреблением. Их цель выходит за рамки простого обеспечения объекта водой – это создание замкнутого, ресурсоэффективного цикла.

В сфере водоснабжения ключевыми элементами становятся:

1.Технологии глубокой очистки и подготовки воды, включая мембранные методы (обратный осмос, нанофильтрация), которые позволяют использовать альтернативные источники, например, очищенные сточные воды или солоноватые грунтовые воды.

2.Системы повторного и оборотного использования воды. Сюда относится сбор и очистка «серых» стоков (от умывальников, душевых) для последующего применения в смыве унитазов, поливе ландшафта или охлаждении оборудования. Отдельным направлением является сбор и использование дождевой воды.

3.«Умное» управление и мониторинг сетей. Установка интеллектуальных водосчетчиков, датчиков протечек в реальном времени и систем автоматического регулирования давления позволяет не только мгновенно обнаруживать и локализовать аварии, сокращая потери, но и оптимизировать режимы работы насосного оборудования, экономя электроэнергию.

Системы водоотведения также трансформируются, переходя от простого отведения стоков к их утилизации как ресурса:

1.Локальные очистные сооружения (ЛОС) нового поколения обеспечивают глубокую биологическую и физико-химическую очистку, позволяя сбрасывать воду в природные водоемы без ущерба для экологии или направлять ее на повторное использование.

2.Технологии рекуперации ресурсов: современные методы, такие как анаэробное сбраживание осадка, позволяют извлекать из сточных вод биогаз (метан) для производства энергии, а обезвоженный осадок может использоваться как органоминеральное удобрение после дополнительной обработки.

3.Раздельный сбор стоков: проектирование раздельных сетей для «серых» и «черных» (фекальных) стоков упрощает и удешевляет их дальнейшую очистку и рециркуляцию.

Анализ изложенной информации позволяет сформулировать следующие заключения:

1.Смена парадигмы: современные системы водоснабжения и водоотведения эволюционировали от простых инженерных сетей к сложным, ресурсо- и энергосберегающим комплексам с замкнутым циклом. Их главная задача – не одноразовое использование, а максимальное сохранение и повторное вовлечение воды и сопутствующих ресурсов в оборот.

2.Технологическая основа эффективности: ключевыми драйверами этой трансформации являются технологии глубокой очистки воды, рециркуляции («серые» стоки, дождевая вода) и интеллектуального управления (датчики, АСУ). Именно они позволяют достигать значительной экономии питьевой воды (до 30-50%) и снижать нагрузку на централизованные сети и окружающую среду.

3.Водоотведение как источник ресурсов: современный подход превращает систему водоотведения из затратной в потенциально ресурсогенерирующую. Извлечение энергии (биогаза) и полезных продуктов (удобрений, технической воды) из стоков закладывает основы для экономической окупаемости и повышения устойчивости объекта.

4.Необходимость комплексного проектирования: реализация потенциала таких систем возможна только при интегрированном проектировании водоснабжения и водоотведения на ранних стадиях проекта. Это включает в себя планирование раздельных сетей, размещение ЛОС и накопительных резервуаров, что обеспечивает синергетический эффект от всех технологий.

Таким образом, современный подход к водоснабжению и водоотведению совершил качественный скачок. Он перестал быть просто «инженерной необходимостью» и превратился в стратегический элемент устойчивого развития. Сегодня успешная система – это замкнутый, умный и ресурсный комплекс. Ее ядро составляют передовые технологии очистки, рециркуляции и интеллектуального управления, которые позволяют радикально экономить ценные ресурсы – прежде всего, чистую воду.

Более того, система водоотведения обретает новую роль: из статьи расходов она становится источником энергии и полезных материалов, что меняет экономику всего проекта. Однако весь этот потенциал раскрывается только при одном ключевом условии – комплексном и продуманном проектировании «с нуля». Интеграция всех элементов – от разделения стоков до размещения локальных очистных сооружений – на ранних стадиях является не просто рекомендацией, а обязательным требованием для достижения синергии, экономической эффективности и минимизации экологического следа.

2.ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И МИКРОКЛИМАТ

Современные энергоэффективные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВиК) представляют собой интегрированные комплексы, выходящие за рамки простого поддержания температуры. Их цель – создание устойчивой, комфортной и экономически выгодной среды с минимальным углеродным следом [1].

Ключевыми элементами современных систем ОВиК являются:

1.Низкопотенциальные и возобновляемые источники энергии. Помимо тепловых насосов (воздушных, грунтовых, водяных) и геотермальных систем, активно внедряются гибридные решения, комбинирующие их с солнечными коллекторами для нагрева теплоносителя или с фотоэлектрическими панелями для электропитания самих систем.

2.Глубокое энергосбережение за счет рекуперации. Современные рекуператоры (пластинчатые, роторные, с промежуточным теплоносителем) позволяют возвращать до 80-95% тепла (или холода) от вытяжного воздуха, радикально снижая нагрузку на системы отопления и кондиционирования.

3.Прецизионное и адаптивное управление микроклиматом. Интеллектуальные системы на основе данных сети датчиков (температуры, влажности, качества воздуха CO_2, VOC, присутствия людей) и интеграции с прогнозами погоды в реальном времени позволяют не просто реагировать, но и прогнозировать нагрузку. Это обеспечивает:

1.Зональное регулирование с поддержанием индивидуальных параметров в разных помещениях. Ночной сброс/подъем температуры и использование естественной вентиляции в переходные периоды. Приоритетное использование свободного охлаждения/нагрева через систему рекуперации или напрямую с улицы, когда это возможно.

2.Интеграция с общей системой энергоменеджмента здания (BMS). Системы ОВиК перестают быть изолированными. Их работа оптимизируется в связке с освещением, солнцезащитными конструкциями, режимом работы оборудования и даже тарифами на электроэнергию, позволяя смещать пиковые нагрузки и снижать общие эксплуатационные расходы.

Анализ изложенной информации позволяет сформулировать следующие заключения:

1.От потребителей к просьюмерам энергии: современные системы ОВиК эволюционируют от пассивных потребителей энергии к активным, управляемым элементам энергосистемы здания, способным гибко адаптироваться, накапливать (в виде тепла/холода в конструкциях или буферных емкостях) и эффективно использовать энергию из возобновляемых источников.

2.Эффективность через интеграцию и интеллект: максимальная энергоэффективность достигается не отдельными технологиями, а их синергией под управлением продвинутых алгоритмов. Комбинация рекуперации, тепловых насосов и предиктивного зонального управления позволяет сократить энергопотребление на отопление и охлаждение на 40-60% по сравнению с традиционными системами.

3.Микроклимат как услуга высшего качества: фокус смещается с обеспечения базовых параметров температуры к гарантированию комплексного благополучия и высокой производительности. Интеллектуальное управление обеспечивает не только тепловой комфорт, но и оптимальное качество воздуха, что напрямую влияет на здоровье и когнитивные функции людей в здании.

4.Экономическая и экологическая устойчивость: внедрение таких систем является ключевым для достижения целей по нулевому энергобалансу (NZEB) и декарбонизации зданий. Снижение зависимости от ископаемого топлива и сетевой электроэнергии делает объект устойчивым к росту тарифов и вносит вклад в выполнение экологических норматив.

Таким образом, будущее систем отопления, вентиляции и кондиционирования – это не просто новые устройства, а переход от простого «потребления» к интеллектуальному «управлению энергией» с фокусом на здоровье человека и экологическую ответственность. Внедрение таких интегрированных решений – это прямой путь к созданию умных, экономически устойчивых и комфортных зданий будущего.

3.СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ

Современные подходы к утилизации отходов отошли от примитивного захоронения на полигонах и движутся в сторону концепции «Zero Waste» (Ноль отходов) и циркулярной экономики [2]. Главными элементами этой системы являются:

1.Иерархия обращения с отходами: приоритет отдается предотвращению образования отходов, затем их повторному использованию, переработке, энергетической утилизации и только в последнюю очередь – безопасному захоронению.

2.Раздельный сбор (сортировка): это фундамент всей системы. Чем чище разделены потоки (пластик, стекло, бумага, металл, органика), тем выше качество вторичного сырья и эффективность последующих этапов.

3.Переработка (рециклинг): механическая или химическая переработка отходов во вторичные материалы, что экономит природные ресурсы и энергию.

4.Компостирование: аэробная переработка органических отходов (пищевых, растительных) в ценное органическое удобрение – компост.

5. Энергетическая утилизация:

*биогазовые установки (анаэробное сбраживание) преобразуют органику в биогаз (топливо) и биоудобрения;

*современные мусоросжигательные заводы (МСЗ) с многоступенчатой системой очистки газов не просто уменьшают объем отходов, но и вырабатывают тепловую и электрическую энергию, превращая отходы в ресурс.

6.Ответственное обращение с «хвостами»: даже после всех этапов переработки остаются неперерабатываемые фракции, которые требуют безопасного и контролируемого захоронения на современных полигонах, соответствующих строгим экологическим стандартам.

Успех всей системы зависит не только от технологий, но и от экономических инструментов (залоговая стоимость тары, расширенная ответственность производителей), законодательства и, что крайне важно, от экологической культуры и вовлеченности населения.

Анализ изложенной информации позволяет сформулировать следующие заключения:

1.Сдвиг парадигмы: отходы перестали рассматриваться как бесполезный мусор. Современная система управления видит в них источник вторичных материалов и энергии, что является основой для циркулярной экономики.

2.Технологическая комплексность: эффективное управление отходами – это не одна технология, а взаимосвязанный комплекс мер: от предотвращения и сортировки до глубокой переработки и энерговыделения. Каждый этап поддерживает другой.

3.Приоритет экологии и безопасности: современные методы, такие как МСЗ с очисткой газов и биогазовые установки, направлены на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека по сравнению с традиционными свалками.

4.Общественная ответственность: технологии бессильны без участия людей. Раздельный сбор на уровне домохозяйств – это критически важный первый шаг, от которого зависит эффективность всей последующей цепочки.

5.Экономическая целесообразность: внедрение современных систем требует инвестиций, но в долгосрочной перспективе оно окупается за счет экономии ресурсов, производства энергии, создания новых рабочих мест в «зеленой» экономике и снижения экологических издержек.

Таким образом, современная система управления отходами – это сложный, но необходимый механизм, который превращает экологическую проблему в возможность для устойчивого развития, сочетая передовые технологии, грамотное законодательство и осознанное поведение каждого человека.

4.ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Таблица 1 представляет собой сравнительный анализ главных инженерных систем здания с точки зрения их энергетической эффективности. Целью сопоставления является наглядная демонстрация технологического прогресса и экономического потенциала, заложенного в современных энергосберегающих решениях. В данной таблице систематизированы основные системы жизнеобеспечения – отопление, освещение, кондиционирование, горячее водоснабжение и вентиляция. Для каждой из них приведены примеры традиционного, широко распространенного оборудования и его современной энергоэффективной альтернативы. Количественным критерием сравнения выступает ориентировочный процент экономии энергии, достигаемый при замене устаревших технологий на передовые.

Данный анализ служит инструментом для инженеров, проектировщиков и управляющих компаний, позволяя оценить целесообразность модернизации и сделать обоснованный выбор в пользу решений, снижающих эксплуатационные расходы и экологическую нагрузку.

Таблица 1

Сравнение традиционных и энергоэффективных технологий

Система	Традиционная технология	Энергоэффективная технология	Экономия энергии
Отопление	Газовый котел (КПД 85-90%)	Конденсационный котел (КПД 105-110%)	15-25%
Освещение	Лампы накаливания	Светодиодные светильники	До 85%
Кондиционирование	Обычные сплит-системы (SEER 3-4)	Инверторные системы (SEER 5-8)	30-50%
Горячее водоснабжение	Электрический бойлер	Солнечный коллектор + тепловой насос	60-80%
Вентиляция	Приточно-вытяжная без рекуперации	Системы с рекуперацией тепла	50-70%

Проведенный сравнительный анализ в таблице 1 наглядно подтверждает, что переход с традиционных на современные энергоэффективные технологии в инженерных системах зданий является мощным рычагом для существенного снижения энергопотребления. Как видно из данной таблицы, потенциал экономии варьируется от 15-25% в системах отопления до 60-80% в системах ГВС, достигая в некоторых случаях (освещение) 85%. Это свидетельствует не только о прямом сокращении эксплуатационных затрат, но и о значительном уменьшении углеродного следа объектов недвижимости. Внедрение таких решений, как конденсационные котлы, светодиодное освещение, инверторные системы кондиционирования, гелиотермия в сочетании с тепловыми насосами и вентиляция с рекуперацией тепла, перестает быть исключительно экологической инициативой и становится экономически выгодной инвестицией с предсказуемым сроком окупаемости.

Таким образом, таблица 1 обосновывает необходимость и высокую эффективность системной модернизации инженерной инфраструктуры как основы для создания устойчивых, ресурсоэффективных и экономичных зданий будущего.

5.ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Экологическая безопасность предполагает не только снижение выбросов, но и минимизацию воздействия на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла системы – от производства материалов до утилизации оборудования.

Таблица 2 представляет собой сравнительный анализ экологической безопасности традиционных и современных инженерных систем по ключевым параметрам воздействия на окружающую среду. Целью сопоставления является количественная оценка преимуществ, которое дает внедрение ресурсосберегающих и экологичных технологий в проектировании и эксплуатации зданий и сооружений. В фокусе анализа находятся два критически важных параметра: выбросы углекислого газа (CO_2), непосредственно связанные с энергопотреблением и определяющие углеродный след объекта, и водопотребление, характеризующее нагрузку на локальные водные ресурсы и инфраструктуру. Для каждой категории приведены диапазоны типичных значений для стандартных и «зеленых» систем, а также ориентировочные нормативные требования, соответствующие передовым международным стандартам в области устойчивого строительства (например, LEED, BREEAM). Данная таблица служит инструментом для проектировщиков, экологов и девелоперов, позволяя оценить соответствие проектируемого объекта современным экологическим критериям и наметить пути для снижения его негативного воздействия на окружающую среду.

Таблица 2

Показатели экологической безопасности инженерных систем

Параметр	Традиционные системы	Современные экологичные системы	Нормативные требования
Выбросы CO_2 (кг/м² в год)	80-120	20-40	≤50 (для «зеленых» зданий)
Потребление воды (л/чел/сутки)	250-350	120-180	≤150 (евро

Сравнительный анализ, представленный в таблице 2, демонстрирует значительное превосходство современных экологичных инженерных систем над традиционными как по уровню выбросов CO_2, так и по эффективности водопотребления. Данные показывают, что внедрение передовых технологий позволяет сократить углеродные выбросы в 3-4 раза (с 80-120 до 20-40 кг/м² в год), что не только соответствует, но и существенно превышает строгие нормативы для «зеленых» зданий (≤50 кг/м² в год). Аналогично, водопотребление может быть снижено практически вдвое (с 250-350 до 120-180 л/чел/сутки), приближаясь к европейским нормам высокой эффективности (≤150 л/чел/сутки).

Таким образом, переход на экологичные системы является не просто формальным соответствием нормам, а реальным механизмом радикального снижения антропогенной нагрузки на планету. Интеграция подобных решений в проектирование и модернизацию объектов становится обязательным условием для достижения целей устойчивого развития, формирования ответственного ресурсопотребления и создания комфортной и здоровой среды для будущих поколений.

Подводя итог, можно утверждать, что современные инженерные системы жизнеобеспечения переживают фундаментальную трансформацию. Их роль больше не сводится к простому удовлетворению базовых потребностей; сегодня они становятся основой для устойчивого развития,

интеллектуального управления ресурсами и минимизации воздействия на планету. Как показал анализ, переход от традиционных подходов к комплексным, «умным» решениям дает впечатляющие результаты. Внедрение энергоэффективных технологий (рекуператоры, тепловые насосы, светодиоды, инверторное оборудование) позволяет сокращать энергопотребление на 30-85% в различных системах. Параллельно современные системы водоснабжения с рециркуляцией и интеллектуальным управлением способны вдвое уменьшить водопотребление, а управление отходами по принципу «ноль отходов» превращает их из проблемы в источник энергии и вторичных материалов.

Ключевым выводом является то, что энергоэффективность и экологическая безопасность неразрывно связаны. Снижая потребление энергии, мы напрямую сокращаем выбросы парниковых газов. Экономя и повторно используя воду, мы снижаем нагрузку на экосистемы. Эта синергия делает модернизацию инженерных систем не просто экологическим трендом, а экономически обоснованной инвестицией с понятным сроком окупаемости. Однако максимальный эффект достигается только при комплексном и интегрированном подходе на самых ранних стадиях проектирования. Разрозненное внедрение отдельных технологий не даст того синергетического результата, который возможен при продуманном взаимодействии всех систем под управлением общей автоматизированной платформы.

Таким образом, будущее за зданиями и инфраструктурой, где инженерные системы работают как единый, живой организм – адаптивный, ресурсосберегающий и безопасный для окружающей среды. Инвестиции в такие решения – это прямой вклад не только в экономию эксплуатационных бюджетов, но и в здоровье людей, устойчивость городов и сохранение природы для будущих поколений.

Список использованных источников

1.Булгаков С.П., Жукова А.А. «Оценка экологической безопасности систем жизнеобеспечения на основе углеродного следа» // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 10. – С. 58–63.

2.Ильин В.А., Семенов В.С. «Цифровые двойники как инструмент повышения энергоэффективности систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК)» // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 1. – С. 34–48.

3.Опарина Л.А., Семушкина С.С. Разработка научно-обоснованных подходов к формированию цифровой экосистемы жилищно-коммунального комплекса // Современные проблемы гражданской защиты. – 2021. – № 4 (41). – С. 155-161.

УДК 669.187.2.041
Процессы выплавки стали в электрических печах. Пылеулавливание. Очистка газов

АНАЛИЗ СОСТАВА ПЫЛЕГАЗОВОЙ СМЕСИ ОТ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Михайлов Александр Игоревич,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», аспирант, ассистент кафедры «Теплогазоснабжения и вентиляции»
e-mail: mihaylov.bstu@mail.ru

Ткач Людмила Владимировна
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», аспирант кафедры «Теплогазоснабжения и вентиляции»
e-mail: koryaka_90@mail.ru

Сталеплавильные производства вносят огромный вклад в развитие России, но причиняют огромный ущерб экологии. Работа металлургической отрасли приводит к ежегодному увеличению выбросов в атмосферу мелкодисперсной пыли и газов от дуговых сталеплавильных печей, которая образуется при технологических режимах работы сталелитейных предприятий. Пыль, образующаяся при работе печей, оказывает пагубное влияние на здоровье человека из-за высокого содержания оксидов тяжелых металлов и легкоплавких оксидов.

Анализ состава пылегазовой смеси поможет повысить эффективность систем очистки, оптимизировать технологические процессы, выявить количество цветных металлов и железа в составе пыли для повторного использования.

В данной статье изучен фазовый и химический состав пылегазовой смеси при различных этапах работы электродуговой печи. Рассмотрены составы пыли на различных предприятиях с дуговыми сталеплавильными печами.

Особый научный и практический интерес представляет изучение источников формирования пыли, анализ химического и гранулометрического состава. Оценка влияния интенсивности выбросов пыли и газов на различных технологических этапах плавки.

Появление новых технологий привело к появлению более емких электродуговых печей с уменьшенным расходом электродов, увеличенным ресурсом работы и повышенной энергоэффективностью. Эти факторы существенно влияют на состав и количество пылегазовых выбросов.

Для обеспечения соответствия требований предельной концентрации вредных выделений в окружающую среду дуговые печи оборудуют системами местной вентиляции и очистки. Производительность таких систем значительно превышает количество пыли и газов, выделяющихся при плавке.

При физико-химических процессах, проходящих внутри дуговых печей образуется большое количество выбросов. Интенсивность выделения вредных веществ в течении цикла плавки может широко изменяться в зависимости от объема и состава загрузки печи, а также в зависимости от технологического этапа.

Наибольшее количество пыли выделяется при плавлении шихты и в период окисления. При плавке шихты выделение пыли нестабильно и зависит от силы тока, напряжения, износа электродов, обвала шихты. Интенсивность пылевыделения оксидов металлов снижается от начала этапа плавки к его к завершению, это связано с появлением слоя шлака, который препятствует выносу пыли.

Под воздействием электрических дуг на шихту происходит первоначальный нагрев в области электродов до 3000-3500˚С, что способствует образованию мелких раскаленных капель. На этом этапе наблюдается интенсивное испарение цинка, кадмия, свинца, железа и других элементов. За счет первоначального подогрева шихты перед загрузкой в дуговую печь на 15-20% снижается эрозия шихты.

На интенсивность испарения веществ влияет температура сплава и давление насыщенного пара под сводом электродуговой сталеплавильной печи.

Интенсивность испарения отдельных компонентов определяется уравнением Ленгмюра:

$$\omega = \alpha p^0 \sqrt{\frac{A}{\pi RT}}, \quad (1)$$

где α – коэффициент Ленгмюра; p0 – давление насыщенного пара элемента, Па; А – атомная масса элемента, кг; R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/(К·моль); Т – температура, К.

При это, чем выше давление пара, тем интенсивнее происходит испарение и в первую очередь испаряются элементы с наименьшей атомной массой такие как цинк (Zn) и свинец (Pb).

Количество вещества подвергшегося эрозии определяется по формуле (2):

$$M = k\, I^{n} \cdot t, \qquad (2)$$

где k – коэффициент, k=~0,2 кг/[(кА)n·ч·т]; I – сила тока, кА; n – эмпирический коэффициент (~ 1-2; 1 относится к печам большой вместимости, 2 – к печам малой вместимости); t – время работы под током, ч.

Количество пыли, образующееся под воздействием электрических дуг за весь период плавки, определяется по формуле:

$$M_{пл.} = k\, m\, In \cdot t, \qquad (3)$$

где m – загрузка печи, т.

Для печи ДСП 6 с загрузкой 6т с учетом этапа продувки ванны кислородом получили вынос пыли и газов около 10-15кг на 1 т загруженного материала.

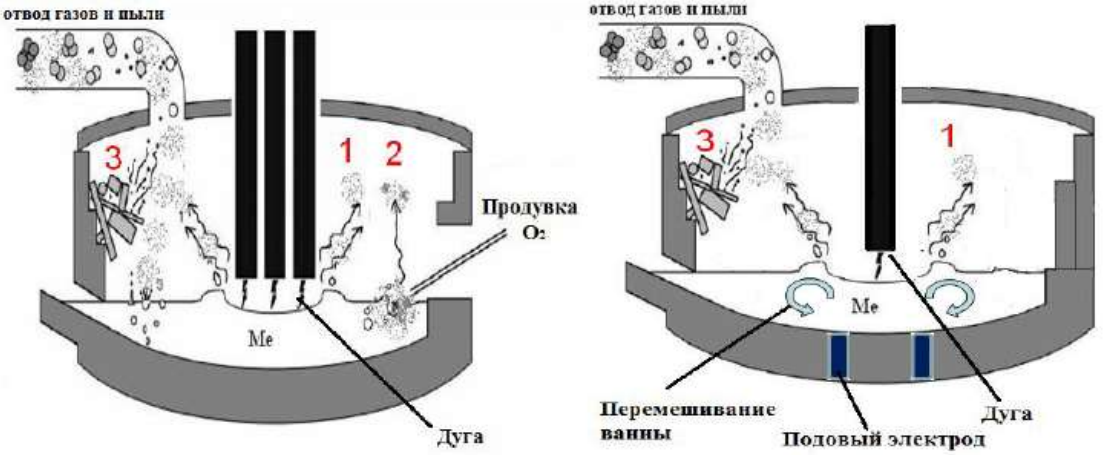


Рисунок 1 – Факторы пылеобразования в дуговых печах: 1 - воздействие электрических дуг, 2 - продувка ванны кислородом, 3 - пыль от загрузки печи

В процессе работы дуговых печей выделяется около 350-450 м^3 газов на 1 т стали. Фазовый состав газовых выбросов включает в себя углерод, кислород, азот и в небольшом количестве H_2 и углеводороды. Под воздействием высоких температур углерод и азот вступают в реакцию с кислородом, образуя цианистые соединения. Большую часть выделяющихся газов составляют углекислый газ (CO) и оксиды азота (NO, NO_2).

В самом начале периода плавки выделение CO минимально и только с повышением температуры шихты интенсивность возрастает и уже на этапе продувки процесс обезуглероживания ускоряется в 3-5 раз, при этом дожигание CO происходит и за пределами печи.

На основе статистических данных с различных предприятий исследователями была получена формула для расчета среднего объема удаляемых газов:

$$Vcp = n/1 \sum Vgi, \qquad (4)$$

где Vcp - объемы газов, полученные в результате замеров на разных печах; n - количество замеров.

Наиболее достоверные данные об объемах удаляемых газов можно получить только в ходе замеров на предприятии и только для производства одной и той же марки стали и использования того же материала для загрузки. Замеры производят с помощью газоанализаторов и дымомеров, в лабораториях проводят газовую хроматографию и спектроскопию.

Процессы, проходящие внутри дуговой сталеплавильной печи, описываются дифференциальным уравнением:

$$Dt/dC = R(C) - D(C), \qquad (5)$$

где C - концентрация газов; R - скорость образования газов; D - скорость удаления газов.

Для определения объемов дымовых газов, удаляемых от электродуговых печей, используется формула:

$$Vг = Q\, t\, K, \qquad (6)$$

где Q - количество образующихся газов на единицу времени (м³/ч); t - время работы печи (ч); K - коэффициент, учитывающий специфику работы печи и характеристики используемого материала.

В периоды загрузки и выпуска стали оценить количество пыли сложно, но по данным исследований при загрузке выделяется около 0,55 кг/т, а при выпуске 0,2 кг/т и через электродные зазоры еще 0,04 кг/т. Эти значения могут отличаться в зависимости от способа загрузки и опорожнения дуговой печи.

Элементарный состав пыли при производстве углеродистых сталей включает: Fe_2O_3 (10-50%), SiO_2 (10-15%), Al_2O_3 (10-15%), MnO (4-10%), MgO (4-5%), также в небольших количествах присутствуют оксиды цинка, свинца, олова, меди и др. (0,2%). В таблице 1 представлен химический состав пыли с образцов трех разных предприятий, собранных в газоходах.

Таблица 1

Химический состав пыли электросталеплавильных производств

Компонент	Содержание, %		
Fe	26	21	18,3
Zn	33	20,5	31,2
Pb	3,05	4	1,02
SiO2	3,15	0,4	3,41
Cu	0,24	0,38	-
Cd	0,049	0,18	-
Cr	0,24	0,19	0,19
Al	0,6	0,6	0,68
Mn	1,83	2,25	2,2
Ca	2,9	12,5	15,6
Mg	-	-	3,8
Na	1,03	1	0,67
K	0,85	0,68	-
Sn	0,024	-	-
Sb	0,06	-	-
V	-	-	-
Cl	0,011	3,8	-
F	0,073	-	-
S	-	-	-
C	-	-	-
Mo	-	-	-
Ni	-	-	-
P	-	-	-
Ti	-	-	-
W	-	-	-

Дисперсный состав пыли меняется в зависимости от режима работы печи. Основная часть пыли состоит из частиц до 3мкм, 80-90% из которых приходятся на соединения железа. Более крупные частицы около 30-40% от общего объема появляются в ходе шлакообразования и в процессе добавления реагентов для удаления остатков марганца и фосфора.

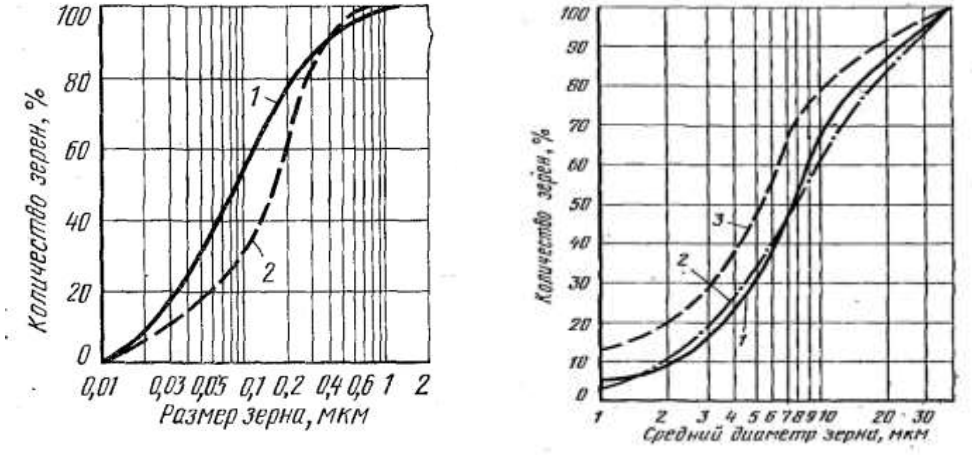


Рисунок 2 - Размеры частиц пыли (слева первичной пыли, справа в период плавления, продувки ванны кислородом, окисления) в период плавки 1, продувки ванны кислородом 2, период окисления 3.

В рабочую зону и системы аспирации зачастую крупные частицы не попадают из-за того, что скорость их витания выше скорости в рабочем сечении местных отсосов от технологического оборудования В.А.Минко [8], другие исследователи доказали, что плавильной пыли характерно усеченное логарифмически-нормальное распределение.

Частицы пыли имеют разную форму: кристаллическую, волокнистую, округлую, слоистую. Форма пылинок на прямую связана с химическими свойствами материалов и технологического процесса.

Из-за склонности к образованию коагуляционных соединений пыль обладает низкой насыпной плотностью 500-700 кг/м^3, истинная плотность плавильной пыли около 2500-2900 кг/м^3. Плавильная пыль от дуговых сталеплавильных печей легко слипается и плохо намокает и обладает низкой электропроводностью.

Для дальнейшего изучения наибольший интерес представляет возможность оптимизации систем местной локализации с учетом химического и дисперсного состава вредных выделений. Внедрение усовершенствованных местных отсосов принесет высокий экономический эффект от предотвращения выбросов и сбора материала для рециклинга производства стали.

Список использованных источников

1. Адоньев С.М., Филипьев О.В. Пылегазовые выбросы предприятий чѐрной металлургии – М.: «Металлургия», 1973. – 200 с.2. Барабанщиков, Ю. Г. Строительные материалы и изделия: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. Г. Барабанщиков. – 5-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 416 с.

2. Киселев А.Д. Повышение эффективности газоудаления дуговых сталеплавильных печей / Киселев А.Д., Тулуевский Ю.Н., Зинуров И.Ю. // – М.: Металлургия, 1992. – 112 с.

3. Леонтьев Л.И., Дюбанов В.Г. Техногенные отходы черной и цветной металлургии и проблемы окружающей среды // Экология и промышленность. 2011 год. № 4. с. 32-35

4. Стовпченко, А.П. Теоретические и экспериментальные исследования состава и восстановимости пыли дуговых сталеплавильных печей / Стовпченко А.П., Камкина Л.В., Пройдак Ю.С., Деревянченко И.В., Кучеренко О.Л., Бондаренко М.Ю. // Электрометаллургия. 2009. № 8. С. 29-36

5. Теплов О.А. Цинксодержащие металлургические шламы: термогравиметрическое исследование и разработка технологии утилизации/Теплов О.А., Леонтьев Л.И., Воропаев И.Г., Дюбанов В.Г., Корнеев В.П. // Сталь. 2008. № 10. с. 123-127.

6. Хилько А. А., Зубкова С. В., Симонян Л. М. Изучение свойств электросталеплавильной пыли. // Известия вузов. Чѐрная металлургия. Краткое сообщение. 2010 год. № 7. с. 68-69

7. Паньшин А.М., Леонтьев Л.И., Козлов П.А., Дюбанов В.Г., Затонский А.В., Ивакин Д.А. Технология переработки пыли электродуговых печей ОАО «Северсталь» в Вельц-комплексе ОАО "ЧЦЗ" // Экология и промышленность России. 2012. № 11. с. 4-6.

8. Минко, В. А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов / В. А. Минко. — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1981. – 176 с.

9. Говорова Н.М., Глебов Ю.Д., Киселев А.Г. Влияние окислительного потенциала газовой фазы на образование бурого дыма в кислородном конвертере // Изв. вуз. Черная металлургия. 1988. № 5. с. 112−118.

УДК 699.86:727.1
67.29.31: Объекты строительства. Общественные здания

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ СЕРЕДИНЫ XX ВЕКА

Сусликова Елена Валерьевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: elena_valerevna_02@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы повышения энергетической эффективности существующих зданий общеобразовательных школ на примере учебного корпуса № 3 МБОУ «Первомайская СОШ» Тамбовской области. Проведен анализ технического состояния ограждающих конструкций здания 1954 года постройки. На основе теплотехнических расчетов обоснована необходимость комплексной термомодернизации и предложены конструктивные решения по доведению сопротивления теплопередаче

стен, чердачного перекрытия и светопрозрачных конструкций до современных нормативных требований. Выполнена оценка экономической и экологической эффективности предлагаемых мероприятий. Показано, что реализация проекта позволяет снизить годовое потребление тепловой энергии на 50,8 %, достичь класса энергоэффективности «B+» и сократить выбросы CO_2 на 132,5 тонны в год.

В условиях реализации обновленной «Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ до 2030 года» задача повышения эксплуатационной надежности и энергоэффективности зданий бюджетной сферы приобретает приоритетное значение [1, 16]. Значительная часть фонда образовательных учреждений была возведена в 1950-1970-е годы без учета жестких требований к тепловой защите, что сегодня приводит к значительным непроизводительным потерям тепловой энергии и нарушению микроклимата помещений [14]. Согласно данным энергетических обследований, многие типовые школы середины XX века имеют класс энергоэффективности «E» (очень низкий) и характеризуются удельными расходами тепловой энергии, превышающими современные нормативы в 2 и более раз [11].

Целью настоящей работы является оценка потенциала энергосбережения и обоснование оптимального комплекса мероприятий по тепловой защите образовательного здания старой постройки на основе натурного обследования и теплотехнического моделирования.

Объектом исследования выбран учебный корпус № 3 МБОУ «Первомайская средняя общеобразовательная школа», расположенный в р. Первомайский Тамбовской области. Здание построено в 1954 году, представляет собой четырехэтажное кирпичное строение П-образной формы в плане. Общая полезная площадь составляет 3136,90 м², отапливаемый объем - 16383 м³. Конструктивная схема - стеновая с несущими стенами из силикатного кирпича толщиной 600 мм.

Методология исследования базируется на системном подходе к анализу здания как единого энергетического комплекса [3, 19]. Использованы следующие методы:

- натурное обследование ограждающих конструкций с фиксацией дефектов;
- инструментальная оценка теплозащитных свойств по методикам СП 50.13330.2012 [17];
- математическое моделирование тепловых потоков через многослойные конструкции [4];
- сравнительный технико-экономический анализ вариантов термомодернизации.

Климатические параметры района приняты по СП 131.13330.2020 [18]: расчетная температура наружного воздуха -25 °C, продолжительность отопительного периода 210 сут., средняя температура отопительного периода -2,8 °C. Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) составляют 4788 °C·сут.

Анализ существующего состояния тепловой защиты. Инструментальное обследование и расчеты показали, что фактические показатели тепловой защиты здания значительно ниже нормативных. Сопротивление теплопередаче наружных стен из силикатного кирпича толщиной 600 мм составляет 0,78 (м²·°C)/Вт при требуемом значении 3,12 (м²·°C)/Вт для климата Тамбовской области, что создает дефицит теплозащиты в 75 % [17]. Оконные блоки представлены двойными деревянными рамами с сопротивлением теплопередаче 0,39 (м²·°C)/Вт (отклонение от нормы - 46 %). Чердачное перекрытие со шлаковой засыпкой характеризуется сопротивлением 0,95 (м²·°C)/Вт при нормативе 4,15 (м²·°C)/Вт (отклонение -77 %), рис.1. Сводные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение фактических и нормативных показателей тепловой защиты до модернизации

Элемент ограждения	Материал / Конструкция	Фактическое R_0, м²·°C/Вт	Норматив по СП 50.13330.2012, м²·°C/Вт	Отклонение от нормы, %
Наружные стены	Силикатный кирпич (600 мм)	0,78	3,12	-75
Окна	Деревянные двойные рамы	0,39	0,72	-46
Чердачное перекрытие	Шлаковая засыпка по ж/б плите	0,95	4,15	-77

Суммарный износ теплозащитной оболочки превышает 46 %. По результатам энергетического обследования зданию присвоен класс энергоэффективности «E» (очень низкий). Структура избыточных теплопотерь через ограждающие конструкции показана на рисунке 1.

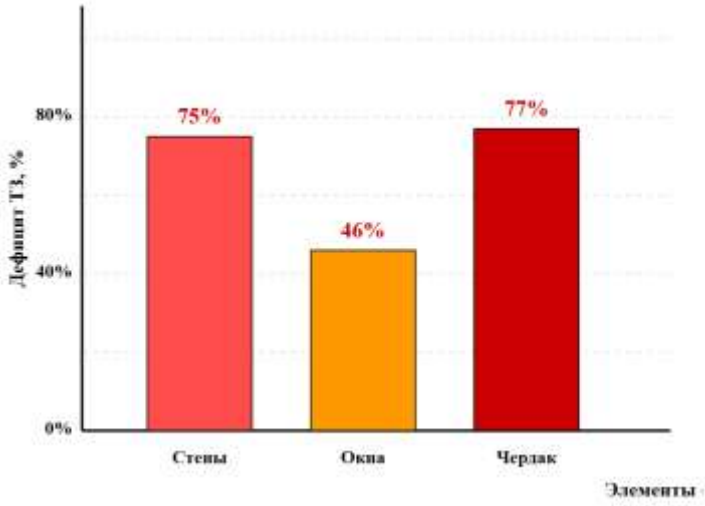


Рисунок 1 - Структура дефицита теплозащиты ограждающих конструкций здания до термомодернизации

Для ликвидации дефицита теплозащиты и исключения промерзания углов проектом предусмотрено устройство фасадной теплоизоляционной композиционной системы с наружными штукатурными слоями («мокрый фасад») [10]. В качестве основного утеплителя приняты негорючие минераловатные плиты «Технoблок» на основе базальтового волокна толщиной 100 мм [5]. Данный выбор позволяет сместить «точку росы» во внешний теплоизоляционный слой, обеспечивая долговечность кирпичной кладки и соответствие требованиям пожарной безопасности для образовательных учреждений [12].

Расчет требуемой толщины утеплителя выполнен по формуле (1):

$$\delta_{ins}=(R0^{req}-R0^{fact})\cdot\lambda_{ins}\,, \qquad (1)$$

где $R0^{req}$ - требуемое сопротивление теплопередаче, 3,12 (м²·°С)/Вт; $R0^{fact}$ - фактическое сопротивление существующей стены, 0,78 (м²·°С)/Вт; λ_{ins} - коэффициент теплопроводности утеплителя, 0,038 Вт/(м·°С). Минимальная толщина утеплителя составила 89 мм. В проекте принята толщина 100 мм, обеспечивающая запас по теплозащите. Теплотехнические характеристики состава «пирога» приведены в таблице 2.

Таблица 2

Проектные теплотехнические показатели наружной стены

№ слоя	Наименование материала	Толщина δ, м	Теплопроводность λ, Вт/(м·°С)	Сопротивление R, (м²·°С)/Вт
1	Внутренняя штукатурка	0,020	0,76	0,026
2	Кирпич силикатный	0,600	0,78	0,769
3	Клеевой состав (адгезив)	0,005	0,93	0,005
4	Минвата Технoблок	0,100	0,038	2,632
5	Декоративная штукатурка	0,010	0,70	0,014
ИТОГО	Общее сопротивление R_0	0,735	-	3,446

Аналогичные конструктивные решения разработаны для чердачного перекрытия (утепление двумя слоями минераловатных плит общей толщиной 150 мм с пароизоляцией и ветрозащитой) и цокольной части (утепление экструдированным пенополистиролом XPS толщиной 100 мм). Предусмотрена также замена существующих деревянных окон на энергосберегающие ПВХ-блоки с 5-камерным профилем и двухкамерным стеклопакетом с i-стеклом и аргоновым заполнением R_0=0,81 м²·°С/Вт).

На основе разработанных проектных решений выполнен прогнозный расчет энергопотребления. Сравнительный анализ показателей до и после термомодернизации представлен в таблице 3.

Таблица 3

Сравнительные показатели энергопотребления здания до и после термомодернизации

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Годовой расход тепловой энергии (ТЭ)	Гкал/год	1184,0
Удельный годовой расход ТЭ на единицу площади	кВт·ч/м²	438,0
Годовой расход электроэнергии на освещение	кВт·ч/год	58 000
Удельный расход электроэнергии на освещение	кВт·ч/м²	18,48
Класс энергетической эффективности	—	«Е» (Очень низкий)

Снижение удельного расхода тепловой энергии на 50,9 % (с 438,0 до 215,0 кВт·ч/м²) позволяет отнести здание к классу энергоэффективности «В+» (высокий) в соответствии с ГОСТ 31427-2023 [7]. Помимо теплозащиты, значимый вклад в энергосбережение вносит автоматизация индивидуального теплового пункта (ИТП) с погодным регулированием, обеспечивающая дополнительную экономию 15-20 % за счет исключения перегревов в переходные периоды [13, 19].

Экономическая эффективность проекта оценивалась по показателю чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости. При общем объеме инвестиций 65,16 млн руб. (в ценах 2026 г.) суммарная годовая экономия на оплате тепловой и электрической энергии составляет 3,01 млн руб./год. Простой срок окупаемости - 21,6 года, дисконтированный (при ставке дисконтирования 10 % и среднегодовом росте тарифов 4–5 %) - 16,2 года, что является приемлемым для объектов бюджетной сферы с длительным жизненным циклом конструкций [8, 9].

Экологический эффект проекта выражается в снижении выбросов парниковых газов. Сокращение потребления природного газа котельной на 70,5 тыс. м³/год приводит к предотвращению выбросов CO_2 в атмосферу в объеме 132,5 тонны в год, что эквивалентно поглощению углерода лесными насаждениями площадью 5,3 га [4].

1. Натурное обследование и теплотехнические расчеты учебного корпуса № 3 1954 года постройки подтвердили его принадлежность к критическому классу энергоэффективности «Е» с дефицитом теплозащиты стен и чердачного перекрытия на уровне 75-77 % [18].
2. Для ликвидации дефицита теплозащиты обосновано применение системы «мокрый фасад» с минераловатными плитами толщиной 100 мм, обеспечивающей повышение сопротивления теплопередаче стен до 3,446 (м²·°С)/Вт, что на 10,4 % превышает нормативное требование для климатических условий Тамбовской области (ГСОП = 4788 °С·сут) [10].
3. Комплексная термомодернизация, включающая утепление фасада, чердачного перекрытия, цоколя, замену окон на энергосберегающие ПВХ-блоки и модернизацию системы отопления с автоматизацией ИТП, позволяет снизить удельный годовой расход тепловой энергии на 50,9 % и перевести здание в класс «В+» (высокий) [14].
4. Экономическая оценка показала приемлемый дисконтированный срок окупаемости инвестиций (16,2 года) при годовом экономическом эффекте 3,01 млн руб. Проект также обеспечивает значительный экологический эффект - сокращение выбросов CO_2 на 132,5 т/год [4].

Таким образом, разработанные проектные решения создают научно-обоснованную базу для тиражирования опыта термомодернизации образовательных учреждений середины XX века в условиях ужесточения нормативных требований к тепловой защите. Реализация предложенного комплекса мер по утеплению внешнего контура здания (фасад, чердачное перекрытие, цоколь) позволяет повысить сопротивление теплопередаче стен в 4,2 раза, что соответствует требованиям СП 50.13330.2012 на 2026 год. Это создает необходимый базис для перевода объекта из категории энергодефицитных класса «Е» в класс высокого уровня энергетической эффективности «В+» [19].

Список использованных источников

1. Акимов, П. А. Научные исследования и разработки Российской академии архитектуры и строительных наук: состояние, направления и перспективы развития / П. А. Акимов, Е. М. Чернышов, П. В. Монастырев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы 4-й Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 15–16 июня 2017 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2017. – С. 12-28. – EDN ZGLTGR.
2. Аспекты термомодернизации зданий старой застройки / А. М. Береговой, В. А. Береговой, П. В. Монастырев, О. В. Тараканов // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 4(29). – С. 62-66. – EDN XDGPWP.
3. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов / В. Н. Богословский. – Переиздание. – СПб.: АВОК, 2023. – 450 с.
4. Гагарин, В. Г. Теплофизика и энергосбережение в зданиях / В. Г. Гагарин. – М.: Издательство МГСУ, 2023. – 280 с.
5. Горшков, А. С. Эффективность минераловатных плит в навесных фасадных системах / А. С. Горшков // Строительные материалы. – 2023. – № 10. – С. 44-50.
6. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2011.
7. ГОСТ 31427-2023 Здания жилые и общественные. Состав показателей энергетического

паспорта. – М.: Стандартинформ, 2023.
8. Езерский, В. А. Методика определения предельного срока службы здания, обеспечивающего безубыточность его термомодернизации / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 357-362. – EDN NTLBZF.
9. Езерский, В. А. Особенности экономической оценки термомодернизации зданий в условиях современных рыночных отношений / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. – С. 9-12. – EDN MTGHQT.
10. Езерский, В. А. Технико-экономическая оценка термомодернизации жилых зданий: учебное пособие / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников. – М.: Изд-во Ассоц. строительных вузов, 2011. – ISBN 978-5-93093-830-2. – EDN QNPMLR.
11. Клычников, Р. Ю. Последовательность термомодернизации жилых зданий и ее влияние на экономическую эффективность / Р. Ю. Клычников, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 27-31. – EDN TZVIXN.
12. Куприянов, В. Н. Влияние влажности на теплопроводность современных утеплителей / В. Н. Куприянов // Известия КГАСУ. – 2024. – № 3. – С. 25-31.
13. Ливчак, В. И. Сравнение фактического и расчетного теплопотребления после термомодернизации / В. И. Ливчак // АВОК. – 2025. – № 1. – С. 8-14.
14. Малявина, Е. Г. Особенности термомодернизации типовых школ 1950-х годов / Е. Г. Малявина // Вестник МГСУ. – 2024. – № 8. – С. 102-110.
15. Мищенко, Е. С. Опыт международного научно-образовательного сотрудничества в области архитектуры и строительства / Е. С. Мищенко, П. В. Монастырев // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, № 4(81). – С. 10-15. – DOI 10.15507/1991-9468.081.019.201504.010. – EDN VBJOMH.
16. Монастырев, П. В. Жилищный фонд и энергосбережение / П. В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2000. – № 5. – С. 14-15. – EDN JWIENN.
17. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с изменениями № 1, 2, 3 от 2023-2024 гг.). – М.: Минстрой России, 2012.
18. СП 131.13330.2020 Строительная климатология. СНиП 23-01-99* (с уточненными параметрами 2024 г.). – М.: Минстрой России, 2020.
19. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2024. – 310 с.
20. Технико-экономические основы эксплуатации, реконструкции и реновации зданий: учебное пособие / Ю. Н. Доможилов, П. В. Монастырев, Н. С. Никитина [и др.]. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 192 с. – ISBN 978-5-93093-516-5. – EDN QNNBNN.

УДК 697.1
67.29.31: Объекты строительства. Общественные здания

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ И ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ

Сусликова Елена Валерьевна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: elena_valerevna_02@mail.ru

В статье представлены результаты проектирования мер по автоматизации систем теплопотребления и освещения в рамках глубокой термомодернизации школьного здания. Рассматриваются вопросы повышения гидравлической устойчивости системы отопления и внедрения погодного регулирования. Приведен расчет технико-экономической эффективности проекта, включая сроки окупаемости инвестиций и экологический эффект (снижение углеродного следа). Обоснована целесообразность перехода от пассивных мер теплозащиты к активному управлению энергопотреблением в бюджетных учреждениях.

Достижение целевого класса энергоэффективности «В+» для объектов бюджетной сферы, возведенных в середине XX века, невозможно исключительно за счет повышения термического сопротивления ограждающих конструкций. Как показано в ряде исследований, максимальный энергосберегающий эффект достигается при синергии пассивных мер (утепление оболочки) и активных мер (автоматизация систем теплопотребления, замена отопительных приборов, модернизация освещения)

[18]. Существующая система отопления учебного корпуса № 3 МБОУ «Первомайская СОШ» (Тамбовская область) характеризуется отсутствием регулирующей арматуры, высокими потерями теплоты в подвальных помещениях и значительной инерционностью чугунных радиаторов, что приводит к перерасходу тепловой энергии до 50 % от нормативного уровня [7, 15].

Целью настоящей работы является обоснование проектных решений по комплексной модернизации инженерных систем здания и оценка экономической эффективности термомодернизации на основе фактических данных энергетического аудита.

Существующая система отопления объекта характеризуется высокой степенью физического и морального износа, более 70 % [16]. В рамках проекта предусмотрена полная замена чугунных секционных радиаторов и стальных регистров на современные биметаллические приборы марки MODERN 500, обладающие низкой инерционностью и повышенной тепловой мощностью [11]. Сравнительные характеристики отопительных приборов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики отопительных приборов

Параметр прибора	Ед. изм.	Чугунный радиатор (сущ.)	Биметаллический MODERN 500 (проект)	Преимущество, %
Номинальный тепловой поток (1 секция)	Вт	160	185	+15,6%
Масса одной секции	кг	7,1	1,8	-74,6%
Рабочее давление	МПа	0,9	2,0	+122,2%
Емкость секции	л	1,45	0,21	-85,5%

Снижение емкости радиатора в 6,9 раза позволяет системе отопления быстрее реагировать на команды автоматики индивидуального теплового пункта (ИТП), что является критическим фактором для эффективной работы систем погодного регулирования. Для обеспечения гидравлической устойчивости системы и исключения «недогрева» удаленных учебных классов на ответвлениях магистралей и у основания стояков установлены автоматические балансировочные клапаны APT-R и запорно-измерительные клапаны ASV-BD [19, 20]. Принципиальная схема автоматизированного узла управления системой отопления показана на рисунке 1.

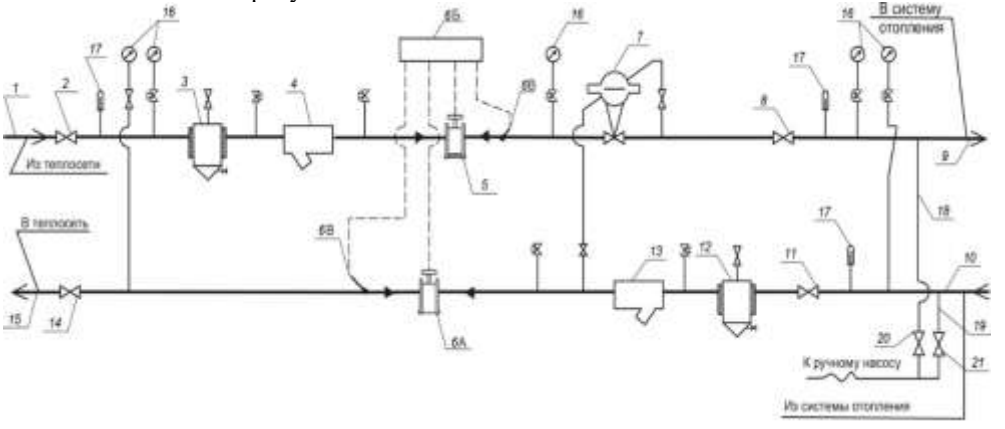


Рисунок 1 - Схема автоматизированного узла управления системой отопления

Автоматизация теплопотребления и освещения. Проектом предусмотрена интеграция системы автоматического погодного регулирования на базе микропроцессорных контроллеров, обеспечивающая следующие функциональные возможности [20]:

- погодная компенсация – снижение температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха (экономия 15-20 % за счет исключения перегревов);
- программное ночное/выходное снижение температуры - дополнительная экономия до 10 % в нерабочее время;
- гидравлическая балансировка стояков - равномерный прогрев всех классов независимо

от удаленности от ввода.

Внедрение системы погодной компенсации и программного снижения температуры в ночное время обеспечивает экономию тепловой энергии до 20-25 % в совокупности с пассивными мерами теплозащиты [14].

Параллельно проведена полная замена осветительных установок на светодиодные светильники серий OPTIMA LED (учебные классы) и Varton (коридоры и вспомогательные помещения) с установкой инфракрасных датчиков присутствия в зонах временного пребывания [17]. Это позволило снизить установленную мощность системы освещения с 99,21 кВт до 41,85 кВт, а годовое потребление электроэнергии - на 57,8%.

Оценка экономической и экологической эффективности. Экономическая целесообразность проекта подтверждается сопоставлением капитальных вложений с прогнозируемой экономией ресурсов в ценах 2026 года [10]. Сводные показатели изменения энергопотребления приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Таблица 2

Сводная таблица изменения энергопотребления и эффективности

Наименование показателя	Ед. изм.	Исходное состояние «До»	Проектное состояние «После»	Абсолютная экономия	Относительная экономия, %
Годовой расход тепловой энергии	Гкал/год	1184,0	582,0	602,0	50,8%
Удельный расход ТЭ на отопление	кВт·ч/м²	438,0	215,0	223,0	50,9%
Годовой расход эл. энергии (освещение)	кВт·ч/год	58 000	24 500	33 500	57,8%
Удельный расход эл. энергии	кВт·ч/м²	18,48	7,81	10,67	57,7%
Класс энергоэффективности	-	«E»	«B+»	+3 уровня	-

Снижение удельного расхода тепловой энергии на отопление составило 50,9% с 438,0 до 215,0 кВт·ч/м², что позволяет зданию соответствовать жестким требованиям по энергосбережению, вступающим в силу в 2026 году [7, 8].

Для наглядной оценки изменения структуры энергопотребления на рисунке 2 приведено сопоставление тепловых нагрузок.

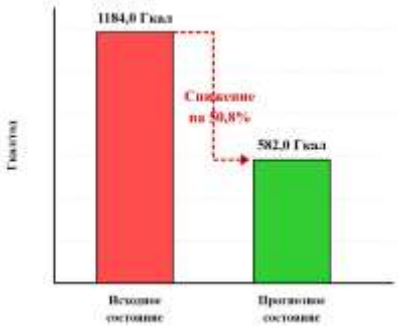


Рисунок 2 - Сравнительная гистограмма годового потребления тепловой энергии.

Общий объем инвестиций в проект составил 65,16 млн руб. (в ценах 2026 г.). Распределение затрат по основным видам работ представлено в таблице 3.

При суммарном годовом экономическом эффекте в 3,01 млн руб. (2,66 млн руб. – экономия тепла, 0,35 млн руб. - экономия электроэнергии) простой срок окупаемости составляет 21,6 года. Дисконтированный срок окупаемости (при ставке дисконтирования 10 % и среднегодовом росте тарифов 4-5 %) - 16,2 года [12]. Данный показатель является приемлемым для объектов социальной инфраструктуры, учитывая, что жизненный цикл используемых материалов (минераловатный утеплитель, ПВХ-профили, биметаллические радиаторы) и инженерных систем составляет от 25 до 50 лет [5].

Таблица 3

Структура капитальных вложений в проект термомодернизации

№ п/п	Наименование мероприятия	Стоимость, руб.	Доля в бюджете, %
1	Утепление фасада (минвата 100 мм)	3 977 500	6,1%
2	Замена оконных блоков на ПВХ (i-стекло)	11 224 430	17,2%
3	Модернизация системы отопления (радиаторы, клапаны)	3 347 400	5,1%
4	Светодиодное освещение (LED)	2 210 200	3,4%
5	Автоматизация ИТП (контроллеры, арматура)	9 850 000	15,1%
6	Общестроительные и сопутствующие работы	34 554 170	53,1%
ИТОГО	Общий объем инвестиций	65 163 700	100,0%

Экологический эффект выражается в предотвращении выбросов CO_2 в объеме 132,5 тонны в год за счет сокращения потребления природного газа котельной на 70,5 тыс. м³/год [3]. Это эквивалентно высадке 5,3 га лесных насаждений.

В комплексная термомодернизация, сочетающая пассивную теплозащиту (утепление фасада, чердака, цоколя, замена окон) и активную автоматизацию (ИТП с погодным регулированием, биметаллические радиаторы с термостатами, LED-освещение с датчиками присутствия), позволяет не только снизить эксплуатационные расходы бюджета на 50,8 % (3,01 млн руб./год), но и обеспечить комфортную образовательную среду, соответствующую современным санитарно-гигиеническим нормам и экологическим стандартам [1]. Предложенные решения могут быть тиражированы при капитальном ремонте аналогичных объектов социальной сферы, возведенных в 1950-1970-е годы [2].

Список использованных источников

1. Акимов, П. А. Научные исследования и разработки Российской академии архитектуры и строительных наук: состояние, направления и перспективы развития / П. А. Акимов, Е. М. Чернышов, П. В. Монастырев // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы 4-й Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 15–16 июня 2017 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2017. – С. 12-28. – EDN ZGLTGR.
2. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика: Учебник для вузов / В. Н. Богословский. – Переиздание. – СПб.: АВОК, 2023. – 450 с.
3. Васильев, Г. П. Глубокая термомодернизация зданий старой постройки / Г. П. Васильев // Энергосбережение. – 2025. – № 4. – С. 20-27.
4. Гагарин, В. Г. Теплофизика и энергосбережение в зданиях / В. Г. Гагарин. – М.: Издательство МГСУ, 2023. – 280 с.
5. Гницевич, А. С. Срок окупаемости затрат на утепление фасадов школ / А. С. Гницевич // Экономика строительства. – 2023. – № 11. – С. 15-22.
6. Доможилов, Ю. Н. Технико-экономические основы эксплуатации, реконструкции и реновации зданий : учебное пособие / Ю. Н. Доможилов, П. В. Монастырев, Н. С. Никитина [и др.]. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 192 с. – ISBN 978-5-93093-516-5. – EDN QNNBNN.
7. Езерский, В. А. Влияние параметров тепловой защиты здания на удельный расход тепловой энергии / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Жилищное строительство. – 2010. – № 1. – С. 43-45. – EDN MSUUDB.
8. Езерский, В. А. Методика определения предельного срока службы здания, обеспечивающего безубыточность его термомодернизации / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – № 3. – С. 357-362. – EDN NTLBZF.
9. Езерский, В. А. Особенности экономической оценки термомодернизации зданий в условиях современных рыночных отношений / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников // Жилищное строительство. – 2010. – № 8. – С. 9-12. – EDN MTGHQT.
10. Езерский, В. А. Технико-экономическая оценка термомодернизации жилых зданий : учебное пособие / В. А. Езерский, П. В. Монастырев, Р. Ю. Клычников. – М.: Изд-во Ассоц. строительных вузов, 2011. – ISBN 978-5-93093-830-2. – EDN QNPMLR.
11. Еремкин, А. И. Проектирование систем отопления и вентиляции общественных зданий / А. И. Еремкин, Т. И. Королева. – М.: Издательство АСВ, 2024. – 340 с.

12. Клычников, Р. Ю. Последовательность термомодернизации жилых зданий и ее влияние на экономическую эффективность / Р. Ю. Клычников, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 27-31. – EDN TZVIXN.
13. Куприянов, В. Н. Влияние влажности на теплопроводность современных утеплителей / В. Н. Куприянов // Известия КГАСУ. – 2024. – № 3. – С. 25-31.
14. Ливчак, В. И. Сравнение фактического и расчетного теплопотребления после термомодернизации / В. И. Ливчак // АВОК. – 2025. – № 1. – С. 8-14.
15. Малявина, Е. Г. Особенности термомодернизации типовых школ 1950-х годов / Е. Г. Малявина // Вестник МГСУ. – 2024. – № 8. – С. 102-110.
16. Монастырев, П. В. Жилищный фонд и энергосбережение / П. В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2000. – № 5. – С. 14-15. – EDN JWIENN.
17. Сибикин, Ю. Д. Энергоснабжение и энергосбережение / Ю. Д. Сибикин. – М.: Академия, 2024. – 270 с.
18. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2024. – 310 с.
19. Тихомиров, А. К. Энергосбережение в системах ТГВ / А. К. Тихомиров. – М.: Дашков и Ко, 2024. – 245 с.
20. Шилкин, Н. В. Автоматизация систем отопления в образовательных учреждениях / Н. В. Шилкин // АВОК. – 2024. – № 5. – С. 36-41.

УДК 692.232
67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение

ЭНЕРГО- И ЭКОЛОГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ФОРМАТЕ ТЕПЛОНАСОНЫХ СИСТЕМ С АНАЛОГО-ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Федосов Сергей Викторович,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», академик РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства»
e-mail: fedosovsv@mgsu.ru

Федосеев Вадим Николаевич
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организация производства и городского хозяйства»
e-mail: 4932421318@mail.ru

Воронов Владимир Андреевич
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация производства и городского хозяйства»
e-mail: amenamiiii@gmail.com

Современное энергосбережение для объектов строительства может достигаться за счет применения следующих решений: энергоэффективные теплогенераторы с использованием альтернативных источников тепла, конденсационные газовые котлы, излучающие панели, солнечные коллекторы, лучистое отопление, клинкерные термопанели и т.д. Список энергосберегающих решений в развитии позволит расширить эффект возможных вариантов повышения энергосберегающих технологий.

Воздушные теплонасосные системы представляют собой универсальные теплогенерирующие устройства, обладающие высокой теплоэнергоэффективностью и при этом достаточной экологичностью.

Развитию теплонасосных систем препятствует отсутствие инструкций по внедрению и использованию устройств в климатических условиях РФ. Причина возникновения проблемы заключается в том, что наибольшую популярность, а стало быть, и развитие теплонасосная техника получила в странах с «мягкими» климатическими условиями. Эти решения не везде применимы к реалиям климата РФ. Необходимо отметить, что отечественными учеными осуществлялись положительные попытки переосмыслить зарубежный опыт применения тепловых насосов. Результатом стала успешная реализация

строительных объектов со встроенными в помещение эффективными теплонасосными системами. Полученный позитивный опыт пока можно назвать только индивидуально-экспериментальным. Когда вопросом энергоэффективного применения теплонасосной техники занимаются высококвалифицированные специалисты со значительным опытом – результат будет положительным, однако такие решение нельзя тиражировать на все остальные объекты строительства ввиду их индивидуального состояния. Для всех разработанных методов расчета физико-химического состояния контура устройства и его технологического процесса присущ один недостаток – они разрабатывались в условиях стационарного режима. Для анализа реальной ситуации необходимо учитывать изменение состояния фреона, его теплофизические свойства, которые значительно меняются в зависимости от его агрегатного состояния. Существующие таблицы наглядно демонстрируют, что теплофизические свойства фреонов значительно отличаются, в зависимости от их агрегатно-фазового состояния при прохождении по контуру теплонасосной системы. Даже незначительное изменение температуры, в сочетание с фазовым переходом может значительно изменить «интенсивность» теплообмена, что повлияет на эффективную теплоотдачу в целом.

Решением перечисленных проблем является реализация аналого-цифрового сопровождения. Разрабатываемые программные решения легко вписываются в создании информационной модели всего объекта капитального строительства через контроллер. В ряде экспериментальных исследований удалось сформировать ключевые физико-математические модели технологии управления объектами капитального строительства, оборудованных теплонасосными системами, перечислим их:

1. **Модель кинетики испарения капель хладагента** – прогнозирует время полного перехода жидкой фазы в пар на участке «ТРВ–компрессор», исключая гидроудары и механические повреждения компрессора. Учитывает реологические свойства фреонов и скорость витания капель.
2. **Модель расчёта температурного поля и десублимации влаги** – моделирует рост наледи на наружной поверхности трубопроводов, оценивает термическое сопротивление слоя и оптимизирует циклы автоматической оттайки. Реализована краевая задача теплопроводности с граничными условиями IV рода и учётом теплоты фазового перехода.
3. **Модель динамики профиля температур в теплоизолированном трубопроводе** – рассчитывает распределение температур по толщине стенки и изоляции при изменяющихся параметрах теплоносителя. Цилиндрическая геометрия представлена в виде двухслойной пластины с применением интегрального преобразования Лапласа.
4. **Модель расчёта теплопроводности неограниченной пластины** – решает задачу теплопроводности неограниченной пластины для сложных геометрических конфигураций. Обеспечивает пошаговый переход от граничных условий III рода к условиям I рода на интервалах $\Delta\tau$, исключая необходимость поиска корней трансцендентных уравнений и повышая вычислительную эффективность.

Подробнее с реализацией перечисленных физико-математических моделей можно ознакомится в публикациях авторов [1-3].

Программно-аппаратные решения, разработанные на основе перечисленных физико-математических моделей, обеспечивают формат управления комфортным микроклиматом помещений, учитывая реальные условия эксплуатации строения. В таблице 1 представлено краткое описание реализованных программных решений.

В перспективе разработанный программный комплекс может быть адаптирован для интеграции со смежными системами управления объектом, включая платформы инженерного диспетчирования, среды общих данных (CDE) и отраслевые информационные пространства. Текущая версия ориентирована на объекты капитального строительства, однако модульная архитектура платформы допускает масштабирование решений для более крупных и технологически сложных сооружений. С учётом динамичного развития технологий информационного моделирования в ближайшем будущем возникнет объективная потребность в автоматизированной передаче проектно-эксплуатационных параметров на основе алгоритмов искусственного интеллекта [8, 9] от цифровой платформы к информационным моделям зданий. Это позволит формировать расчётно-имитационные цифровые двойники в открытом международном формате IFC (Industry Foundation Classes). Техническая реализация такого обмена данными обеспечивается за счёт ИИ-модулей платформы и программных интерфейсов REST API, что гарантирует надёжную консолидацию инженерной информации в единой цифровой среде.

Теплонасосная технология и техника обладает значительным потенциалом в своем прикладном развитии для теплообеспечения строений. Для нового витка эффективного развития теплонасосные системы необходимо рассматривать в рамках состояния полноценного технологического процесса, как сложного двухфазного состояния рабочего тела ТНС на уровне аналого-цифровых моделей, возможности которых позволяют раскрыть динамику эффективной теплоотдачи на выходе

теплонасосной системы.

Практическое решение всех проблематичных факторов теплообеспечения строений вполне реально, рассчитывая конфигурацию предлагаемых схемных решений в аналитически – цифровом варианте формата цифрового двойника.

Таблица 1

Описание разработанных программных решений управления теплонасосными системами

№	Наименование программы для ЭВМ	Краткое описание и назначение	Ключевые особенности / математический аппарат	Этап жизненного цикла строения	Практический эффект
1	Программа для моделирования аналитической зависимости функциональных параметров кинетики испарения капель рабочего хладагента в контуре воздушных теплохолодильных систем [4]	Прогноз времени полного перехода жидкой фазы в пар на участке «ТРВ - компрессор» для исключения гидроударов и поломки компрессора	Расчёт скорости витания капель, учёт реологических свойств фреонов	Проектирование, эксплуатация	Снижение риска попадания жидкости в компрессор с 10–15 % до 2–3 %; обоснование выбора фреона и диаметра трубопроводов
2	Программа расчета температуротеплопроводности и граничных температур пластины, учитывающая процесс десублимации влаги на наружной поверхности трубопровода теплообменного прибора [5]	Моделирование роста слоя наледи («шубы») и оценка его термического сопротивления для оптимизации циклов оттайки	Краевая задача теплопроводности с граничными условиями IV рода, учёт теплоты фазового перехода.	Эксплуатация	Прогноз момента начала обледенения, сокращение частоты циклов разморозки на 30–40 %, снижение паразитных энергопотерь
3	Программа расчета динамики профиля температур теплоизолированного трубопровода внутреннего контура испарительно-конденсационного блока воздушной теплохолодильной установки [6]	Расчёт распределения температур по толщине стенки трубы и слоя изоляции при изменяющихся параметрах теплоносителя	Представление цилиндрической геометрии в виде двухслойной пластины, интегральное преобразование Лапласа, учет граничных условий IV рода на контакте слоёв	Проектирование, Эксплуатация	Оценка реальных теплопотерь контура, обоснование толщины изоляции, верификация режима работы ПЛК-контроллером
4	Программа для моделирования решения задачи теплопроводности неограниченной пластины [7]	Универсальная модель теплообмена в системе «газ–твёрдое тело» для сложных геометрических форм строительных и инженерных конструкций	Расчет теплопроводности по толщине стенки трубопровода внутреннего контура теплонасосной системы численно-аналитическим методом академика С.В. Федосова: пошаговый переход от граничных условий III рода к граничным условиям I на интервалах $\Delta\tau$, отказ от поиска корней трансцендентных уравнений	Проектирование	Ускорение теплотехнических расчётов в 3–5 раз; возможность встраивания алгоритмов в ПЛК для адаптивного управления

Список использованных источников

1. Федосов, С. В. Функционально-структурный анализ фреонового контура воздушного теплового насоса / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, В. А. Воронов // Строительные материалы. — 2025. — № 12. — С. 65–72.
2. Федосов, С. В. Теплообмен и десублимация в испарительной линии воздушного теплового насоса / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев // Приволжский научный журнал. – 2022. – № 2 (62). – С. 100–113.
3. Федосов С.В. Численно-аналитический метод сведения задач нестационарной теплопроводности / С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, В.А. Воронов // Строительные материалы. – 2022. – № 12. – С. 59–62.
4. Федосов, С. В. Программа для моделирования аналитической зависимости функциональных параметров кинетики испарения капель рабочего хладагента в контуре воздушных теплохолодильных систем: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2022666150 Рос. Федерация / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. С. Зайцев, В. А. Воронов, О. В. Блинов, И. А. Зайцева; заявл. 08.08.2022; зарег. 25.08.2022.
5. Федосов, С. В. Программа расчета температуротеплопроводности и граничных температур пластины, учитывающая процесс десублимации влаги на наружной поверхности трубопровода теплообменного прибора: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023663430 Рос. Федерация / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. С. Зайцев, В. А. Воронов, О. В. Блинов, И. А. Зайцева; заявл. 05.06.2023; зарег. 22.06.2023.
6. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Воронов В.А., Блинов О.В., Зайцева И.А. Программа расчета динамики профиля температур теплоизолированного трубопровода внутреннего контура испарительно-конденсационного блока воздушной теплохолодильной установки: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022682948 Рос. Федерация; заявл. 16.11.2022; зарег. 29.11.2022.
7. Федосов, С. В. Программа для моделирования решения задачи теплопроводности неограниченной пластины: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023668149 Рос. Федерация / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. С. Зайцев, В. А. Воронов, О. В. Блинов, И. А. Зайцева; заявл. 15.08.2023; зарег. 23.08.2023.
8. Теличенко, В. И. Риски интеграции технологий искусственного интеллекта в «зеленые» стандарты / В. И. Теличенко, А. А. Лапидус, М. Ю. Слесарев // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 8. – С. 102–108.
9. Курбатов, В. Л. Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве / В. Л. Курбатов, В. И. Римшин, И. Л. Шубин, С. В. Волкова. – Москва: [б. и.], 2023.

УДК 697.1:726
44.31.33 Геотермальные электрические станции и установки

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ИНТЕГРАЦИИ С СИСТЕМАМИ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ РОССИИ: АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ

Федотов Артем Александрович
ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный архитектурно – строительный университет», аспирант кафедры «Теплогазоснабжение»
e-mail: a.fedotov.mail@yandex.ru

Соколов Михаил Михайлович
ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный архитектурно – строительный университет», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплогазоснабжение»
e-mail: araim1985@list.ru

Кочев Алексей Геннадьевич
ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный архитектурно – строительный университет», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Теплогазоснабжение»
e-mail: kochev.1961@mail.ru

Организация эффективного и одновременно эстетически приемлемого отопления является одной из ключевых инженерных проблем при строительстве и реставрации православных храмов. Высокие своды, значительные теплопотери через массивные каменные стены, необходимость сохранения росписей и иконостасов, а также требование создания комфортных условий для прихожан делают традиционные конвекционные системы (радиаторы, тепловые пушки) либо неэффективными ввиду явления температурной стратификации, либо разрушительными для интерьеров и предметов культа.

В ответ на этот вызов в мировой и российской практике все более отчетливо формируется тренд на интеграцию двух взаимодополняющих технологий:

Система низкотемпературного лучистого отопления («теплый пол»). Данная система обеспечивает равномерный прогрев приземного пространства и характеризуется высокой долей лучистой составляющей, что минимизирует конвективные потоки и создает физиологически комфортный микроклимат при низкой температуре теплоносителя.

Тепловой насос с грунтовым зондом. Использование возобновляемой тепловой энергии грунта позволяет автономно и экологично покрывать как базовые, так и пиковые тепловые нагрузки здания с высокими показателями эффективности на единицу затраченной электроэнергии.

Синергия этих двух систем представляется особенно перспективной именно для православных храмов. Однако на сегодняшний день отсутствуют комплексные исследования, обобщающие технические решения, нормативные ограничения и практический опыт их совместного применения в российской специфике. Поэтому в данной работе делается акцент на особенностях православных храмов и их энергетической модели, действующей нормативной документации, а также опыте практического применения тепловых насосов.

Энергетическая модель православного храма значительно отличается от модели стандартного гражданского здания, так как они имеют значительный внутренний объем, двухсветные пространства и купольные завершения. Как отмечено в [1,2], такое архитектурное решение приводит к высокой тепловой стратификации воздуха: нагретые конвекцией воздушные массы скапливаются под сводами и в куполе, практически не участвуя в обогреве нижней зоны пребывания прихожан. Установка радиаторов отопления, кроме того, создает нежелательные конвективные потоки, способствует подъему пыли, а их размещение крайне затруднительно на стенах, занятых иконостасом и росписями, что противоречит эстетике и каноническому убранству.

Принципиальная особенность геотермальных тепловых насосов — генерация низкопотенциального тепла (с температурой теплоносителя в подающем контуре отопления порядка 35–55 °С). Такая температура теплоносителя является оптимальной для систем напольного лучистого отопления (теплый пол). Это позволяет исключить из интерьера радиаторы, полностью освободив поверхности стен для сакрального искусства, а также полностью нивелировать проблему конвективной пылевой эмиссии, что особенно важно для сохранности икон и фресок.

При проектировании инженерных систем необходимо учитывать требования, предъявляемыми нормативными документами, основными из которых являются [3,4].

Согласно [3], средняя расчетная температура поверхности полов в православных храмах не должна превышать 23°С из соображений физиологического комфорта, безопасности передвижения (наличие ступеней, амвона) и сохранности напольных покрытий. Поддержание такого температурного режима (в диапазоне от 20 до 23 °С) идеально достигается именно с помощью низкотемпературных систем лучистого отопления при умеренной температуре теплоносителя на входе в контуры пола (около 30–35 °С). Геотермальный тепловой насос способен работать в этом диапазоне в режиме своей максимальной энергетической эффективности (коэффициент преобразования COP 4,5–5,5), что делает данное сочетание не только комфортным, но и энергетически оптимальным.

В актуализированной редакции [4] предусмотрены обновленные требования к теплозащите ограждающих конструкций, учитывающие современные реалии энергоэффективности, что позволяет минимизировать ненужные теплопотери здания и увеличить эффективность работы теплового насоса.

В контексте настоящего исследования термины «грунтовый тепловой насос» и «геотермальный тепловой насос» используются как синонимы и обозначают тип теплового насоса, использующего тепловую энергию грунта, извлекаемую с помощью вертикальных геотермальных зондов.

Применительно к храмовому строительству наиболее предпочтительными являются вертикальные замкнутые зонды (типа «петля» или «двойная U-образная труба»), размещаемые в буровых скважинах глубиной от 50 до 200 метров (рис. 1).

Такой способ:

- Минимизирует площадь земельного участка, необходимую под коллектор, что критически важно для прихрамовых территорий с плотной застройкой или в исторических центрах городов.
- Обеспечивает стабильно высокую температуру грунта на глубине (в большинстве регионов РФ – от +3 до +10 °С), независимо от сезонных колебаний температуры воздуха.
- Практически не оказывает негативного воздействия на гидрогеологический режим и верхние слои почвы, сохраняя корневую систему деревьев и ландшафт.

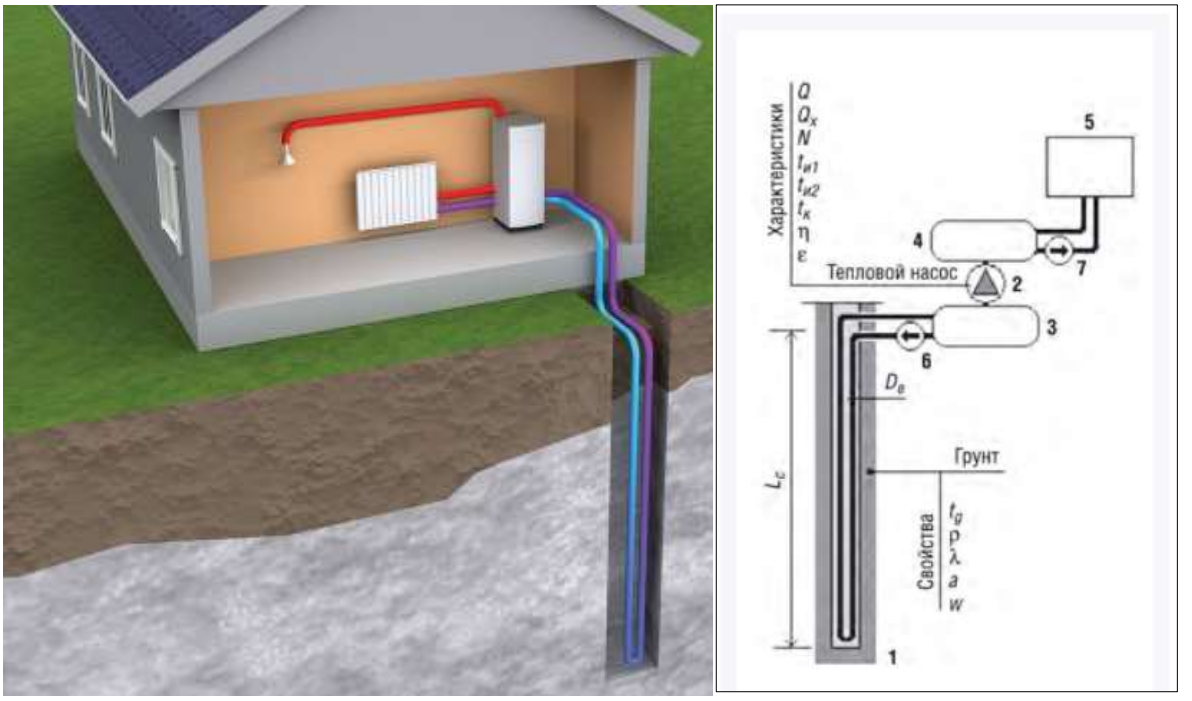


Рисунок 1 – Общий вид замкнутого вертикального грунтового теплообменника (ВГТ). 1 – ВГТ; 2 – компрессор; 3 – испаритель; 4 – конденсатор; 5 – система отопления; 6 – циркуляционный насос ВГТ; 7 – насос системы отопления

Распространенный скепсис относительно работы тепловых насосов в условиях экстремальных морозов (ниже -30 °С) не имеет отношения к геотермальным системам. Геотермальный зонд извлекает тепло из глубинных слоев земли, температура которых стабильна круглый год. Воздушные изменения не влияют на процесс съема тепла, поэтому кондиционеры с воздушным теплообменником (так называемые «воздушные тепловые насосы»), действительно малоэффективные при сильных морозах,

не являются предметом настоящего анализа. Геотермальные системы, напротив, демонстрируют стабильную работу при температурах наружного воздуха до -40 °С и ниже, что подтверждается практикой их применения в Норвегии, Канаде и северных регионах РФ. По мнению ряда экспертов, геотермальный тепловой насос является практически единственным типом, подходящим для массового применения в климатических условиях России.

Современное оборудование, такое как система геозондов REHAU RAUGEO sonde PE-Xa [5], оптимизировано для зданий с низкотемпературными системами отопления. Использование сшитого полиэтилена (PE-Xa) гарантирует коррозионную стойкость, гибкость и долговечность контура. Ключевым преимуществом таких систем является возможность реверсивного использования: в летний период система геозондов может работать в режиме пассивного охлаждения («free cooling»), отводя избыточное тепло из помещения обратно в грунт, что фактически заменяет энергозатратную систему кондиционирования.

Анализ практического опыта внедрения таких технологий в России для православных храмов провести достаточно сложно, поскольку все ограничивается публикациями в непрофильных изданиях [6,7] и других. В частности, речь идет о храме Вознесения Господня в г. Тобольске, строительство которого велось с 2012 по 2022 годы. Этот храм, построенный в традициях древнерусского зодчества (квадратная двухсветная храмовая часть, три апсиды, двухэтажная трапезная и трехъярусная колокольня), рассчитанный на 600 прихожан по заверению источников за счет геотермального отопления обеспечивает всю тепловую нагрузку здания.

Подобные системы активно применяются за рубежом, например, в Римско-католической церкви в Гданьске (Польша) установлен грунтовой тепловой насос мощностью 29 кВт, который позволил значительно снизить выбросы вредных веществ. Важно отметить, что в данном случае система была успешно интегрирована в старое здание церкви. Это показывает, что технология применима не только для новостроек, но и для реконструкции исторических храмов, где требуется минимальное вмешательство в интерьер.

Опыт эксплуатации теплых полов в храмах демонстрирует ряд особенностей. Например, в одном из обсуждений на профильном форуме указывалось, что при сильных морозах только теплый пол может быть недостаточен для прогрева массивных каменных стен, храм может промерзать. Решение этой проблемы в проектах, подобных тобольскому, закладывается на этапе проектирования: расчет тепловой мощности пола ведется с учетом теплопотерь через стены, а реверсивный режим теплового насоса позволяет в режиме охлаждения летом, а зимой — максимально эффективно аккумулировать тепло в бетонном полу (теплоемкая стяжка).

Требование к равномерности прогрева пола обусловливает использование легких, но эффективных стяжек. Применение «теплых стяжек» на основе цементно-полистирольных смесей позволяет снизить нагрузку на фундамент и ускорить монтаж системы напольного отопления в храмовых зданиях, где часто требуется минимальная высота подъема уровня пола.

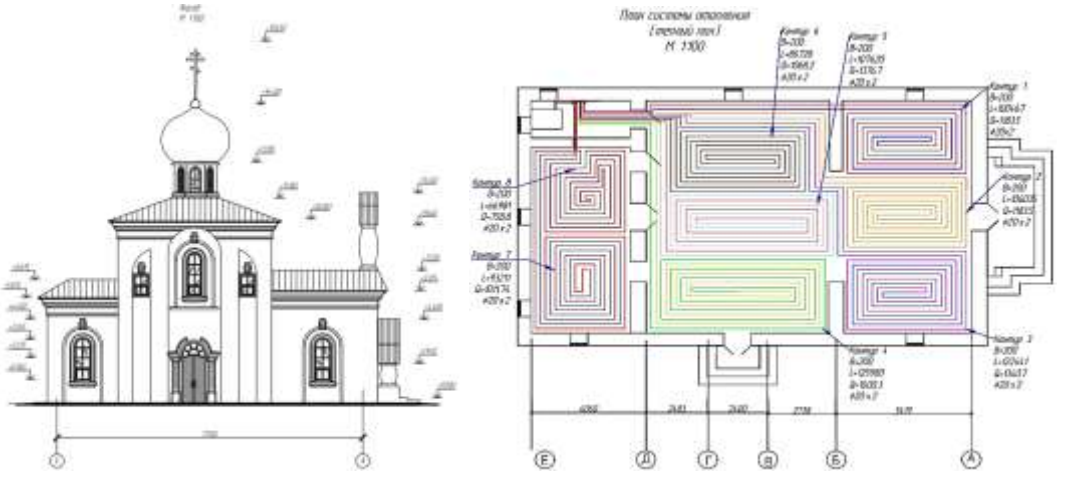


Рисунок 2 – Пример размещения контуров теплого пола в помещениях храма

Капитальные затраты на монтаж геотермальных зондов и теплового насоса, несомненно, выше, чем на установку газового котла или подключение к центральным тепловым сетям. Стоимость бурения одной скважины составляет значительную сумму, а количество скважин определяется расчетной тепловой нагрузкой и свойствами грунта. Однако эксплуатационные расходы геотермальной системы

значительно ниже: на каждый 1 кВт затраченной электроэнергии на привод компрессора и насосов владелец получает 3–5 кВт тепловой энергии (в зависимости от COP). Отсутствие необходимости закупать газ, дрова или уголь, а также отсутствие дымоходов и регулярного технического обслуживания котла делает систему экономически привлекательной в долгосрочной перспективе.

В свою очередь, использование лучистого отопления в виде теплого пола:

Полностью освобождает стены от радиаторов и труб, что позволяет максимально использовать их под роспись и иконостасы.

Увеличивает полезную площадь интерьера, не загромождая пространство техническими элементами.

Сохраняет исторический облик в случае реставрации, так как теплые полы — это единственная система отопления, которая полностью скрыта под напольным покрытием.

По результатам проведенного анализа можно сформулировать следующие выводы:

Комбинация «грунтовый тепловой насос + теплый пол» является наиболее перспективным и физиологичным решением для православных храмов в климатических условиях России. Низкотемпературный режим работы обеспечивает максимальный коэффициент преобразования энергии (COP), а лучистый характер теплопередачи гарантирует комфорт для прихожан и сохранность интерьеров.

Высокие капитальные затраты являются основным сдерживающим фактором. Для массового внедрения необходима разработка типовых проектных решений и обоснование возможности включения установки геотермальных систем в программы государственного субсидирования проектов энергосбережения для религиозных организаций.

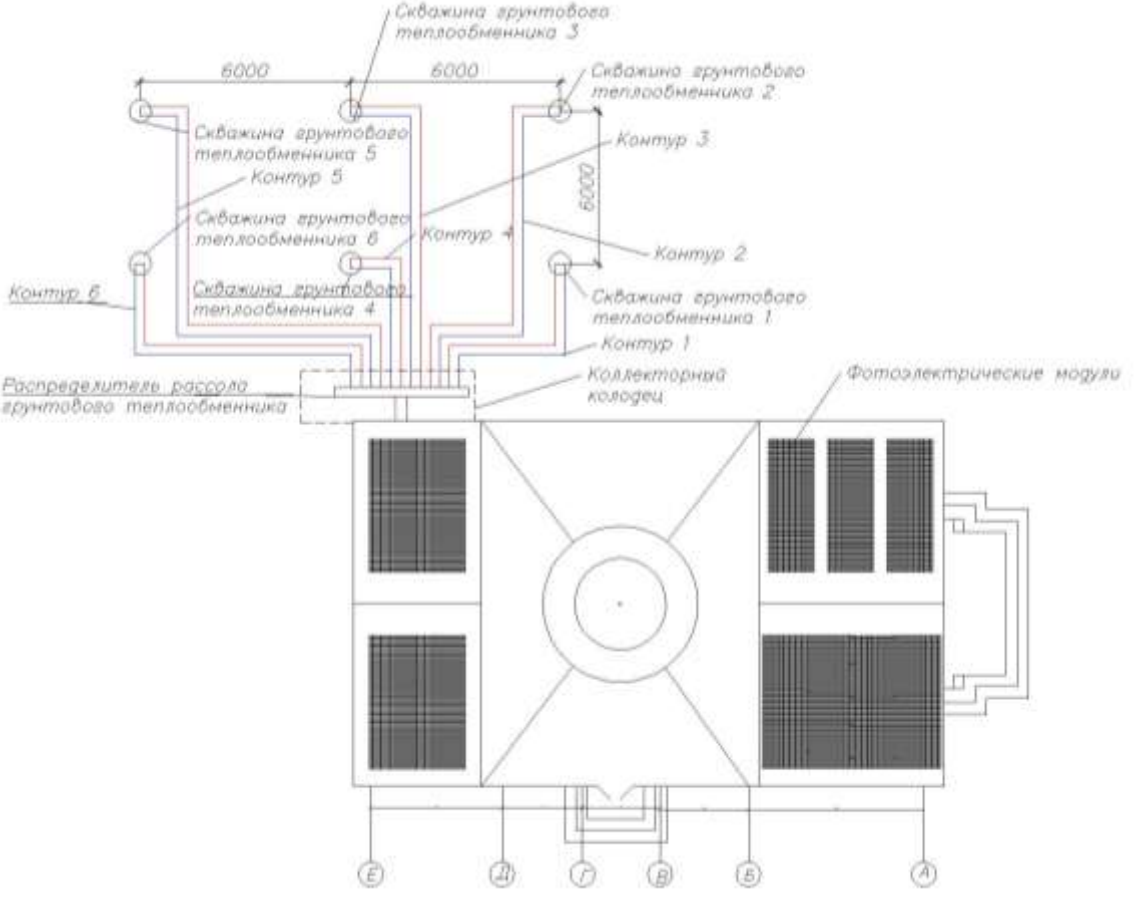


Рисунок 3 – Пример размещения вертикальных контуров грунтового теплового насоса в плане.

Рекомендации для приходов и проектных организаций:

Проводить геологическое исследование участка до начала проектирования для точного расчета глубины и количества геотермальных зондов.

Выбирать вертикальные зонды при ограниченной площади участка и в исторических центрах городов.

Закладывать систему теплого пола с расчетом на низкотемпературный режим (температура теплоносителя не выше 35 °С).

Предусматривать возможность реверсивного режима для летнего пассивного охлаждения храма.

Привлекать к проектированию организации, имеющие опыт в геотермальной тематике и в строительстве храмов, с обязательным учетом требований СП 391.1325800.2017.

Таким образом, симбиоз геотермальных тепловых насосов и лучистого отопления открывает новую эру в храмостроительстве России: эру независимости, экологичности и гармоничного единения современных технологий с вековыми духовными традициями.

Список использованных источников

1. Жарнаков, А. С. Перспективы применения тепловых насосов в православных храмах / А. С. Жарнаков, М. М. Соколов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 11–15 декабря 2017 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2017. — С. 772-775.

2. Кочев, А. Г. Возможность использования возобновляемых источников энергии при конструировании систем создания и поддержания параметров микроклимата в православных храмах / А. Г. Кочев, В. Г. Гагарин, М. М. Соколов, Е. А. Кочева // Журнал «Строительство и техногенная безопасность». — 2022.

3. АВОК Стандарт 2-2004 «Храмы православные. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха». — Введ. 2004-06-09. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2004.

4. СП 391.1325800.2017 «Храмы православные. Правила проектирования» (утв. Приказом Минстроя России от 22.12.2017 № 1703/пр, ред. от 28.12.2023). — Введ. 2018-06-23. — М.: Стандартинформ, 2018.

5. Система REHAU RAUGEO sonde PE-Xa: техническая документация. — REHAU, 2019.

6. В Тобольске построили православный храм с геотермальным отоплением: [Электронный ресурс] // ТАСС. — 2022. — 23 сентября. — Режим доступа: https://tass.ru/obschestvo/15850223 (дата обращения: 28.04.2026).

7. В Тобольске построили храм, тепло для которого возьмут «из глубин земли»: [Электронный ресурс] // Православный журнал «Фома». — 2022. — 27 сентября. — Режим доступа: https://foma.ru/v-tobolske-postroili-hram-teplo-dlja-kotorogo-vozmut-iz-glubin-zemli.html (дата обращения: 28.04.2026).

СЕКЦИЯ 5

ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 691.32:620.22-022.532
67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ ДОБАВКАМИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Артамонова Ольга Владимировна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Химии и химической технологии материалов»
E-mail: ol_artam@rambler.ru

Закатов Артем Борисович
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», аспирант кафедры «Химии и химической технологии материалов»
E-mail: marishwedowa@mail.ru

В работе рассмотрено влияние комплексной наноразмерной добавки на основе оксида алюминия на структурообразование цементной системы при различных условиях твердения. Современное материаловедение цементных систем и композитов на их основе характеризуется устойчивым трендом к использованию наноразмерных модификаторов, позволяющих целенаправленно регулировать структуру и свойства цементной матрицы. Среди широкого спектра нанодобавок особое место занимает оксид алюминия (Al_2O_3), проявляющий высокую химическую активность по отношению к продуктам гидратации портландцемента [1, 2]. Дискуссионный характер научных данных о влиянии нано-Al_2O_3 обусловлен, прежде всего, полиморфизмом модификаций (α-Al_2O_3, γ-Al_2O_3), их различной склонностью к агломерации и, как следствие, нестабильностью достигаемых эффектов [3].

При этом принципиально важным, но практически не изученным остаётся вопрос о совместном влиянии наномодификаторов и условий твердения (в первую очередь, влажностный режим) цементных систем. Целью данной работы является выявление закономерностей структурообразования наномодифицированных цементных систем при различных условиях твердения.

В качестве объектов исследования выступали модифицированные цементные композиции состава Ц-В-КНД-Al_2O_3-СП, твердевшие в течение 28 суток в двух различных условиях:

1. Водное твердение (ВТ) — твердение под водой (избыток воды);
2. Воздушно-влажностное твердение (ВВТ) — твердение в эксикаторе (над поверхностью воды).

Цементные смеси получали путем перемешивания в течение 3 мин в лопастном смесителе цемента с водой затворения, в которой предварительно растворяли необходимое количество добавки. В качестве добавки использовали синтезированную по авторской методике (золь-гель синтез) комплексную систему, состоящую из наноразмерных оксидов SiO_2 и Al_2O_3. Для стабилизации роста наноразмерных частиц в процессе синтеза вводили необходимое количество суперпластификатора (СП). Стоит отметить, что присутствие СП позволяет при введение комплексной добавки равномерно распределить её в объеме цементной смеси. Более подробно методика синтеза комплексной добавки изложена в работе [4].

Фазовый состав образцов исследован методом порошковой рентгеновской дифракции. Результаты рентгенодифрактометрических исследований (дифрактометр марки D8 DISCOVER, излучение CuKα, λ = 1.541788 Å), представленных на рисунке 3. Обработку первичных результатов осуществляли с помощью программного комплекса PDWin 4.0 [5].

На основании экспериментальных данных установлено (рис. 1), что процессы гидратации в обоих образцах привели к формированию типичных, но с разной степенью завершенности, продуктов гидратации портландцемента.

Для образцов твердеющих под водой фиксируются следующие основные фазы: $(CaO)_x \cdot SiO_2 \cdot zH_2O$, $CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, $5CaO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$, $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6\ H_2O$, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4\ H_2O$, $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O$. Можно также отметить небольшое количество фаз $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ и портландита $Ca(OH)_2$.

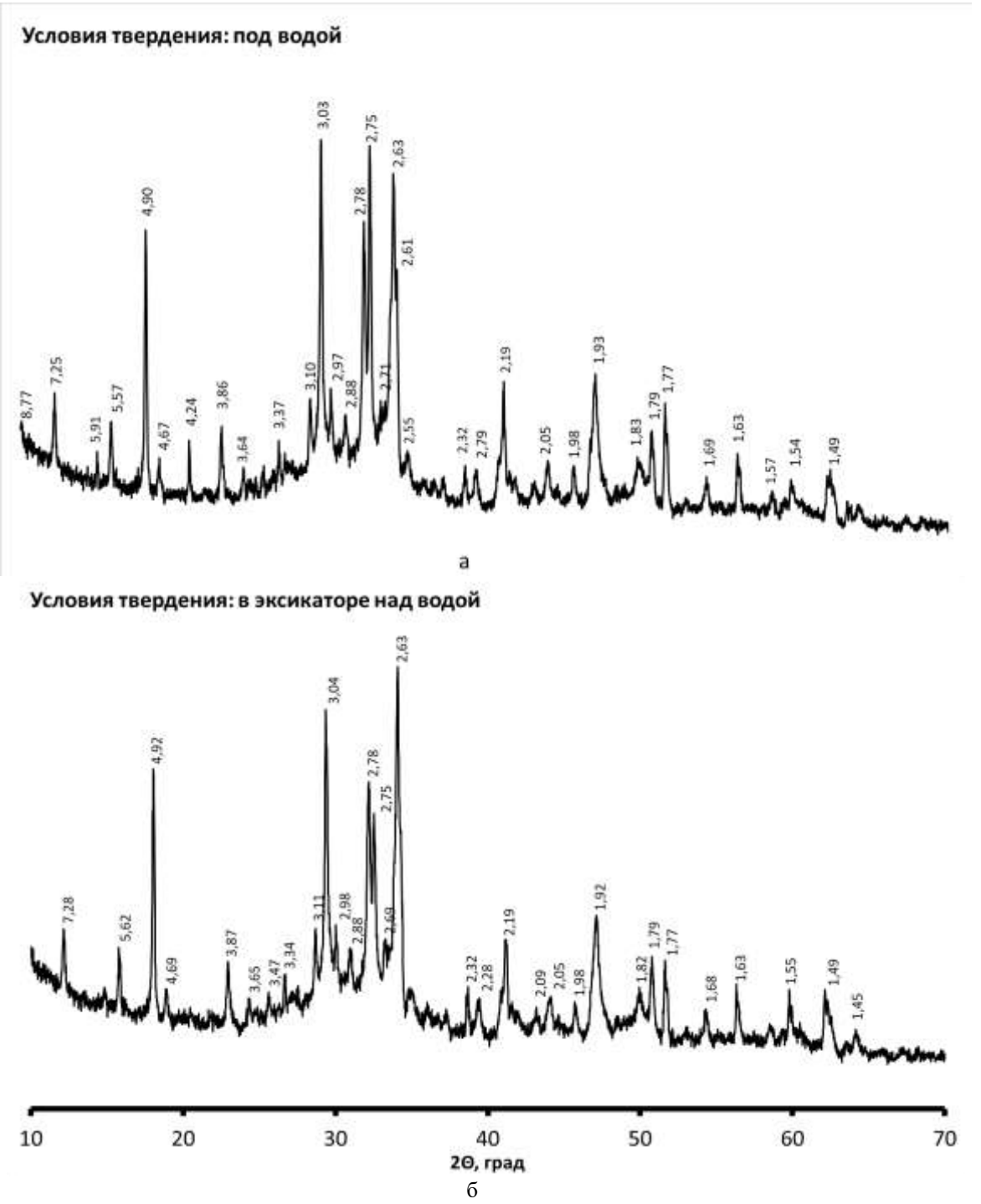


Рисунок 1 – Дифрактограммы наномодифицированных цементных систем твердения: а) водное твердение (ВТ), б) воздушно-влажностное твердение (ВВТ). Обозначено: $(CaO)_x \cdot SiO_2 \cdot zH_2O$ (d = 4.92, 3.05, 2.93, 2.80, 2.31, 1.83); $CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (d = 8.91, 3.09, 2.99, 2.96, 2.83, 2.16, 1.82), $5CaO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$ (d = 5.42, 3.31, 3.02, 2.76, 2.69, 2.57, 1.90, 1.80); $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6\,H_2O$ (d = 7.14, 4.96, 4.14, 3.14, 2.67, 1.78, 1.70), $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4\,H_2O$ (d = 5.01, 4.34, 3.07, 2.75, 2.24, 1.99, 1.77), $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\,H_2O$ (d = 8.80, 4.36, 2.86, 2.72, 2.04), $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ (d = 5.36, 4.10, 2.89, 2.78, 2.67, 2.36, 2.24, 1.64), $Ca(OH)_2$ (d = 4.93, 3.11, 2.63, 1.93, 1.79, 1.69); $3CaO \cdot SiO_2$ (d = 4.93, 3.11, 2.63, 1.93, 1.79)

Для образцов твердеющих над водой (100% влажная атмосфера) основными фазами также являются $(CaO)_x \cdot SiO_2 \cdot zH_2O$, $5CaO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$, $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6\,H_2O$, портландита $Ca(OH)_2$ фиксируется значительно больше, а наличие фаз $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4\,H_2O$ существенно уменьшается.

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет предположить следующую последовательность химических превращений в наномодифицированных цементных системах:

1) в начальный момент времени наблюдается первичная гидратация алюминатов: трехкальциевый алюминат (C_3A) из клинкера реагирует с водой с образованием высокоосновных гидроалюминатов, наличие фазы $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ – прямое свидетельство этой стадии. Важно отметить, что эта фаза метастабильна и со временем перекристаллизовывается;

2) наноразмерные частицы Al_2O_3 в щелочной среде, поставляют алюминатные анионы $[Al(OH)_4]]^-$, которые вступают в реакцию с имеющимся $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ и кремнеземом (из C-S-H или исходного сырья), а также наночастицами SiO_2 формируя смешанные фазы:

Образование стратлингита $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4\ H_2O$ — результат замещения кремния алюминием в структуре гидросиликатов или прямой реакции между алюминатами и силикатами:

$$3Ca^{2+} + [Al(OH)_4]^- + [SiO_4]^{4-} + OH^- + H_2O \rightarrow 3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}SiO_2{\cdot}4H_2O$$

При этом образование цеолитоподобной фазы $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6\ H_2O$ требует еще большего количества кремнезема и является признаком высокой степени полимеризации алюмосиликатного каркаса;

3) далее заметим, что образование гидроалюмосиликатов $3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}SiO_2{\cdot}4H_2O$ и $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6\ H_2O$ идет с потреблением портландита $Ca(OH)_2$. Это классическая пуццолановая реакция, но с участием алюминия. Именно поэтому портландит не является основной фазой.

Для образцов, твердеющих под водой наблюдаются признаки полноты протекания реакции. Мы видим наличие $(CaO)_x{\cdot}SiO_2{\cdot}zH_2O$, $CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}2H_2O$, $5CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}H_2O$, и широкий спектр алюминатных фаз (C-A-S-H). Свободный доступ воды способствует диффузии ионов и максимальному протеканию реакций. Вода выступает и как реагент, и как среда для транспорта ионов. Особенностью является то, что формируется более гетерогенный, но и более полный набор фаз. Портландит эффективно расходуется, так как его ионы легко мигрируют к реакционным центрам.

Для образцов, твердеющих над водой наблюдаются признаки ограниченной диффузии**.** В фазовом составе нет C_2AH_6, а C_4AH_{19} все еще присутствует. Количество стратлингита $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4\ H_2O$ снижено. То есть в условиях паровоздушной среды вода присутствует в виде пара, а не жидкой фазы. Это резко замедляет диффузию ионов Ca^{2+} и $[Al(OH)_4]^-$. Алюминий из оксидной фазы менее подвижен, поэтому интеграция его в структуру C-S-H геля затруднена. Портландит не успевает прореагировать с кремнеземом и остается в значительном количестве (в отличие от образца, твердеющего под водой, где он фиксируется в небольшом количестве).

Таким образом, можно сформулировать основные особенности структурообразования наномодифицированных систем комплексными добавками на основе Al_2O_3.

1. Двух стадийность гидратации алюминатов: стадия 1 – образование метастабильного $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$. Он фиксируется в небольшом количестве, что говорит о том, что процесс гидратации прошел эту стадию; стадия 2 – трансформация $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$ и взаимодействие алюминатов с кремнеземом. Это привело к доминированию C-A-S-H фаз**.** Алюминий не остается в виде простых гидроалюминатов, а встраивается в силикатный каркас. Это может обеспечивать повышенную связность, прочность и стойкость цементной матрицы**.**

Комплексная добавка на основе наночастиц Al_2O_3 в условиях твердения под водой обеспечивает формирование не просто упрочненного, а качественно иного вяжущего — на основе гидроалюмосиликатов кальция (C-A-S-H), минуя стадию накопления потенциально опасных метастабильных гидроалюминатов **(**C_4AH_{19}).

Условия твердения являются определяющими в процессе твердения. Вода в жидкой фазе (ВТ) необходима для реализации «химического потенциала» наночастиц Al_2O_3, т.к. только в жидкой среде возможна эффективная диффузия ионов и полное протекание реакций замещения и комплексообразования с образованием прочных C-A-S-H связок.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках темы государственного задания (проект FZGM-2026-0003).

Список использованных источников

1. Zhang, W. Self-healing cement concrete composites for resilient infrastructures: A review / W. Zhang, Q. Zheng, A. Ashour et al. // Composites Part B. 2020. – V. 189. – Pp. 107892.

2. Wu, M. A review: self-healing in cementitious materials and engineered cementitious composite as a self-healing material / Wu M., B. Johannesson, M. Geiker // Construction and Building Materials. 2012. – V. 28(1). – Pp. 571–583.

3. Bullard, J. W. Mechanisms of Cement Hydration / J. W Bullard., H. M. Jennings, R. A. Livingston // Cement and Concrete Research. – 2011. – V. 41. – Pp. 1208–1223.

4. Артамонова, О.В. Исследование кинетики роста гидрозоля алюминия, полученного из различных прекурсоров / О.В. Артамонова, А.Б. Закатов // Химия, физика и механика материалов. – 2025. – № 1 (44). – С. 38 – 48.

5. JCPDS – International Centre for Diffraction Data. © 1987 – 1995. JCPDS – ICDD. Newtown Square, PA. 19073. USA. Режим доступа: https://www.icdd.com/

УДК 691.328.43
67.09.33: Бетоны. Железобетон. Строительные растворы, смеси, составы

ИННОВАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РЕМОНТЕ ГОРОДСКИХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ

Бондарев Борис Александрович,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
e-mail: lnsp-48@mail.ru

Бондарев Александр Борисович,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
e-mail: lnsp-48@mail.ru

Ярцев Виктор Петрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
e-mail: jarcev21@rambler.ru

Жидков Владимир Константинович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: gidkov_vova_1999@mail.ru

На рисунке 1 приведена схема создания и практической реализации исследований материалов на основе ПКМ для защитных покрытий пешеходных переходов.



Рисунок 1 - Структурная схема создания и реализации результатов исследований материалов ПКМ

Наиболее уязвимым элементом в конструкциях городских подземных переходов является система гидроизоляции, ибо существующие материалы и технологии не могут удовлетворить современным нормативным требованиям из-за малого срока службы конструкций, а также из-за невозможности замены или устройства новой конструкции во время эксплуатации сооружения [1-3]. По этим причинам применение новых (инновационных) материалов и технологий для устройства гидроизоляции вышеуказанных конструкций является актуальной научной задачей.

Для решения этой задачи необходимо осуществить анализ технического состояния элементов конструкций городских подземных переходов на основании диагностического обследования сооружения – установить опасные производственные факторы, оказывающие влияние на долговечность и состояние конструкций.



Рисунок 2 - Замокание бетонной поверхности в зоне стыка сборных элементов. Разрушение гидроизоляции плиты перекрытия



Рисунок 3 - Замокание бетона в зоне стыка железобетонных конструкций. Нарушение сплошности гидроизоляции



Рисунок 4 - Застой воды на поверхности покрытия в зоне лестничного схода



Рисунок 5 - Локальное разрушение бетона с обнажением зерен крупного заполнителя в зоне лестничного схода



Рисунок 6 - Отслоение декоративной керамической плитки от стен

Полимерные растворы, полимербетоны на различных связующих являются эффективными материалами для устройства гидроизоляции различных конструкций, в то числе и подземных пешеходных переходов [4]. В конце прошлого века коллективом ученых во главе с Елшиным И.М. были разработаны полимерные композиционные на основе смол ФАМ и ФАЭД, получившие название ФАЭИС-30, который изготовляется смешением фурфурол ацетонового мономера алкилрезорциновой смолой ЭИС-1 в соотношении 70:30 в массовых частях [7]. Такие композиции успешно используются для решения различных гидротехнических сооружений в различных уголках бывшего СССР [6]. С развалом СССР все эти работы были прекращены, а исследования И.М. Елшина и его коллег были забыты. Считая такие события несправедливыми и неэффективными, нами были приняты меры по дальнейшему исследованию этого материала, применив его в конструкциях, воспринимающих циклические нагрузки.

Для гидроизоляции бетона должны применяться материалы, номенклатура и свойства которых устанавливаются соответствующими техническими условиями и ГОСТами.

Связующим для приготовления лакокрасочного композиции является фурано-эпоксидно-сланцевая смола ФАЭИС-30/ТУ 6-05-211-1313-84/. В случае отсутствия смолы ФАЭИС-30 допускается при изготовлении рабочей композиции раздельное применение следующих компонентов этой смолы:

- мономер ФАМ (ТУ 5902-039-07-79);
- алкилрезорциновая смола марки ЭИС-1 (ТУ 38-1091-76) или марки АРЭМ-2-20 (ТУ 38-1091-88).

Возможно использование взамен алкилрезорциновых смол эпоксидных смол марок ЭД-16 или ЭД-20 (ГОСТ 10587-84). В качестве пластификатора применяется жидкий нитрильный каучук СКН-18-1А (ТУ 38-103-16-76) Отверждение полимерной композиции производят полиэтиленполиамином – ПЭПА (ТУ 6-02-594-80). Растворителем компонентов служит толуол или ацетон (ГОСТ 2768-79). Для повышения трещиностойкости и прочности покрытие может быть армировано стеклотканью марок Т-10, Т-10/1, Т-10/2 или Т-2 (ГОСТ 19170-73).

Предварительным расчетом было установлено минимальное количество образцов, необходимых для построения линии выносливости по формуле:

$$n = kZ_{1\frac{l}{2}} * \frac{\gamma^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где $Z_{1\frac{l}{2}}$ – квантиль нормированного нормального распределения; Δ - относительная максимальная ошибка в определении предела выносливости; γ – коэффициент вариации предела выносливости; k – коэффициент, значение которого определяется численным параметром уравнения:

$$n = 3 * 1{,}96^2 * \frac{0{,}0250}{0{,}05} = 5{,}71 \approx 6 \text{ шт.}, \quad (2)$$

На рисунке 7 приведена, построенная по методике [5], линия выносливости для элементов с защитным покрытием в 2 мм. Предел выносливости характеризуется наибольшей нагрузкой, которую способен нести элемент, определяем на базе $2*10^6$ циклов приложения нагрузки, и ее величина составила 0,828 Н или 0,41 $P_{разр}$. Анализ результатов показывает, что при проведении испытаний наблюдается разброс значений, о чем говорили показатели коэффициента корреляции r = -0,939. Линия выносливости описывает следующее уравнение:

$$Y=4{,}47 - 0{,}578X \text{ или } Y=4{,}47 - 0{,}578\lg N$$

На базе $2*10^6$ циклов разрушающая нагрузка составила 1,054Н или 0,47 $P_{разр}$.

Третья серия образцов имела толщину защитного слоя 6 мм.

Для испытания были изготовлены шесть призм размерами 40х40х160 мм. Испытания образцов этой серии начинались с нагрузки, составляющей 0,8 $P_{разр}$ с постепенным снижением нагрузки от образца к образцу, и составляли для образца П-5 – 0,5 $P_{разр}$, для образца П-6 – 0,45 $P_{разр}$.

Наибольшее количество циклов до разрушения прошел образец П-6 – 3456690 циклов, а наименьшее – образец П-3 – 109180 циклов.

Таблица 1

Результаты усталостных испытаний элементов с защитным покрытием толщиной 2 мм

П-1	1,43 (0,65)	0,09	0,0081	246710	5,392	-0,009	0,000081	-0,000081
П-2	1,76 (0,8)	0,42	0,1764	56150	4,749	-0,652	0,425	-0,274
П-3	1,54 (0,7)	0,20	0,040	79610	4,900	-0,501	0,251	-0,1002

П-4	1,21 (0,55)	-0,13	0,0169	451620	5,654	0,253	0,064	-0,03289
П-5	0,99 (0,45)	-0,35	0,1225	1090700	6,008	0,607	0,368	-0,212
П-6	1,10 (0,50)	-0,24	0,0576	510720	5,708	0,307	0,0942	-0,0737
			Σ=0,422		M^xср=5,401		Σ=1,202	Σ=-0,693

Таблица 2

Результаты усталостных испытаний элементов с защитным покрытием толщиной 4 мм

П-1	1,51 (0,75)	0,15	0,0225	200200	5,301	-0,344	0,1183	-0,0516
П-2	1,61 (0,8)	0,25	0,0625	130200	5,116	-0,525	0,2756	-0,131
П-3	1,31 (0,65)	0,05	0,00225	490800	5,691	0,05	0,0028	-0,000125
П-4	1,21 (0,6)	0,15	0,0225	895100	5,951	0,31	0,0961	-0,0465
П-5	1,11 (0,55)	0,25	0,0625	1900500	6,279	0,60	0,36	-0,15
П-6	1,41 (0,70)	0,05	0,00225	320100	5,505	-0,136	0,0185	-0,0068
			Σ=0,175		M^xср=5,641		Σ=0,871	Σ=-0,386

Таблица 3

Результаты усталостных испытаний элементов с защитным покрытием толщиной 6 мм

П-1	1,61 (0,7)	0,211	0,0440	230171	5,362	-0,467	-0,0985	0,218
П-2	1,265 (0,55)	-0,134	0,0179	920810	5,987	0,158	-0,0211	0,0249
П-3	1,84 (0,8)	0,441	0,194	109180	5,038	-0,791	-0,349	0,626
П-4	1,495 0,65)	0,096	0,0092	560710	5,748	-0,081	-0,077	0,00656
П-5	1,15 (0,50)	-0,249	0,0620	2010770	6,303	0,474	-0,1180	0,225
П-6	1,035 (0,45)	-0,364	0,132	3456690	6,533	0,709	-0,258	0,503
					M^xср=5,641		Σ=-0,852	Σ=-1,604

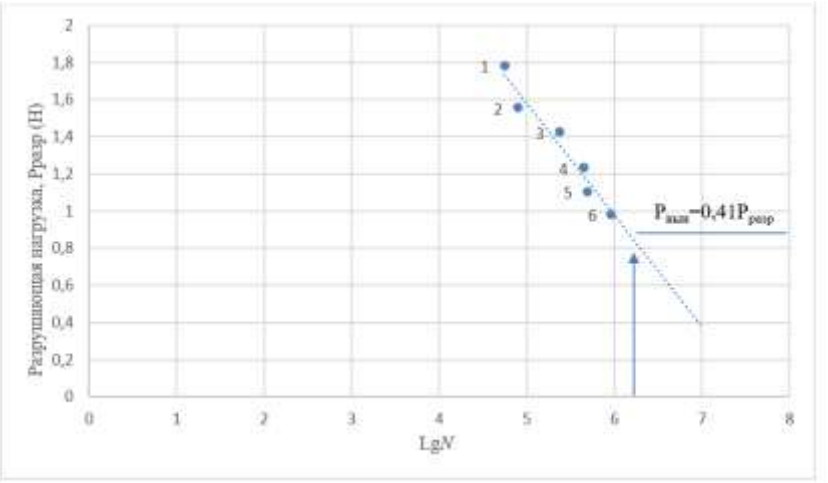


Рисунок 7 - Линия выносливости для образцов с защитным слоем 2 мм

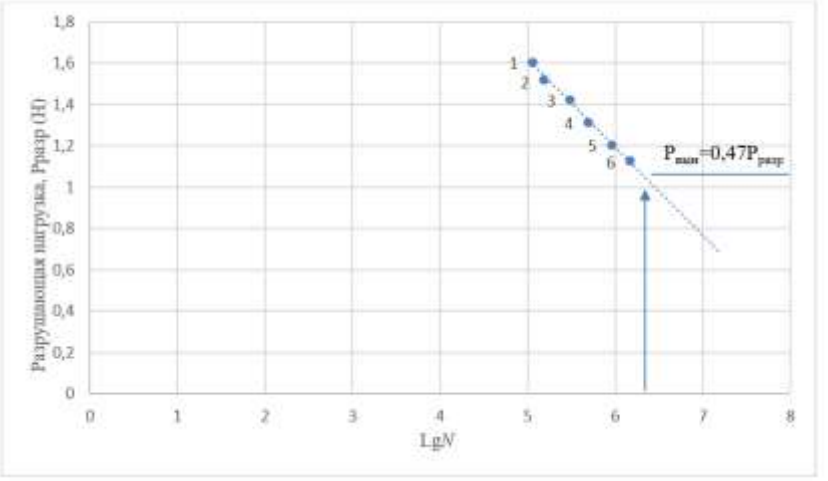


Рисунок 8 - Линия выносливости для образцов с защитным слоем 4 мм

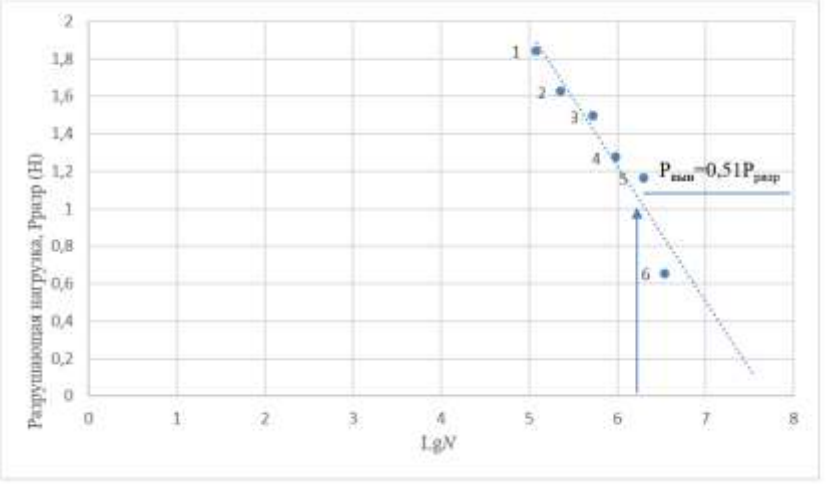


Рисунок 9 - Линия выносливости для образцов с защитным слоем 6 мм

Выводы по работе:

- защитные покрытия (их толщина) оказывает существенное влияние на выносливость исследуемых конструкций;
- предел выносливости элементов конструкций возрастает в зависимости от толщины покрытия.

Список использованных источников

1. Жидков, В. К. Применение полимерных композиционных материалов при ремонте городских подземных переходов / В. К. Жидков, Д. А. Хрипунков, М. А. Моисеев // Современные вызовы транспортной отрасли: новые возможности : Материалы межвузовской научно-практической конференции транспортных вузов, Москва, 27–28 февраля 2024 года. – Москва: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2024. – С. 77-80.

2. Бондарев, Б. А. Пути повышения долговечности элементов конструкций мостовых сооружений с применением полимерных композиционных материалов / Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, В. К. Жидков // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2025. – № 1(60). – С. 10-17.

3. Влияние гидроизоляции на долговечность мостовых сооружений / Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, В. К. Жидков, К. Д. Ишматов // Современные проблемы материаловедения : Сборник научных трудов III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, академика Российской академии архитектуры и строительных наук Е.М. Чернышова, Липецк, 18 февраля 2022 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 75-79.

4. Ярцев, В. П. Влияние наполнителей из асбоцементных отходов на физико-механические свойства и долговечность цементно-песчаных бетонов / В. П. Ярцев, Е. И. Репина // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 10. – С. 16-22. – DOI 10.12737/article_5bd95a711c3155.64686740. – EDN YMVPIL.

5. Меднов А. Е. Исследование армополимербетонных элементов на действие многократно приложенных нагрузок : дис. … канд. техн. наук. М., 1979. 190 с.

6. Яковлев В.М. Расчет полимербетонных конструкций на сжатие и растяжение с учетом температурно-временной аналогии / В.М. Яковлев. — Липецк. — 1998. — 150 с.

7. Бондарев А.Б. Прогнозирование циклической долговечности полимерных композиционных материалов : автореф. дис. … канд. техн. наук. Волгоград, 2001. 21 с.

УДК 624.012:620.172.225
67.11.31 Бетонные и железобетонные конструкции

ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ДЕГРАДАЦИИ

Варламов Андрей Аркадьевич,
ФБГОУ ВО "Магнитогорский Государственный Технический университет им. Г.И. Носова", к.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
e-mail: office@mgrp-mg.ru

Теория деградации - предлагается как всеобщая модель поведения объектов (материалов) при их разрушении [1,2].

Анализ теории позволил открыть возможность расчета пластических деформаций материалов по результатам испытаний стандартных образцов. Имея результаты испытаний материала в стандартных условиях, или в тех, в которых предполагается работа материала или изделия можно определить поведение материала или изделия за длительный период времени, не проводя длительных испытаний. Покажем, как это делается на примере бетона. Бетон может иметь самую разную структуру и состав, работает в самых разнообразных условиях и поэтому предсказать его поведение во времени и важно и трудно. Но, теория деградации, позволяет по результатам испытания образца в известных условиях предсказать его поведение во времени. При определенной доработке теория позволит предсказать и поведение материала (или изделия) и в разных условиях. Основой для расчетов служит конфликт модулей.

Конфликт модулей. Рассмотрим самую простую зависимость работы материала в теории деградации [1] в виде:

$$\boldsymbol{\sigma = B_1(\varepsilon_R \ln \frac{\varepsilon}{\alpha} - \varepsilon + \alpha),} \quad (1)$$

В которой ε, σ текущие деформации и напряжения, $\boldsymbol{\varepsilon_R}$ - деформации, соответствующие наибольшему напряжению R, $\boldsymbol{\alpha}$ деформации, соответствующие начальным дефектам, $\boldsymbol{B_1}$ - исходный потенциал бетона.

При $\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon_R} = 200\cdot10^{-5}$, $\boldsymbol{B_1}$=7200 МПа и $\boldsymbol{\alpha} = 10\cdot10^{-5}$ имеем $\boldsymbol{\sigma_R}$ = 29,5 МПа. В точке с деформацией $40\cdot10^{-5}$ и напряжением $\boldsymbol{\sigma}$ = 17,8 МПа (η = 17,8/29,5=0,6) значение касательного модуля упругости будет равно (формула потенциала $B^* = B_1\frac{\varepsilon_R-\varepsilon}{\varepsilon}$) $E_к = B_{01}$ = 7200(200-40)/40=28800 МПа, а значение секущего модуля $E_c=B_{02}$=17,8/40·10^{-5} =44500 МПа. Кривая деформирования бетона получает перелом при переходе от прямой секущего модуля упругости к кривой, характеризуемой в этой точке касательным модулем упругости. При этом возникает в этой точке разность потенциалов $\Delta B=B_{02}- B_{01}$.

На графике работы бетона получаются четыре характерные точки. Первая при ε = α. При этих деформациях напряжения, согласно зависимости (1), равняются нулю. При росте деформаций касательный модуль непрерывно снижается, секущий модуль растет до второй характерной точки ε = 25,86·10^{-5}, где его величина сравнивается с величиной касательного модуля. Затем и касательный и секущий модули начинают уменьшаться. В третьей характерной точке, имеющей координату деформаций ε = $70\cdot10^{-5}$ (уровень нагружения 0,8) разница между модулями или потенциалами наибольшая. В этой точке разница между напряжениями по кривой и линией, соединяющей нулевую точку с точкой наибольшей прочности – наибольшая. Четвертая точка – точка наибольших напряжений, в которой происходит смена знака касательного модуля.

Если в произвольной точке **A** проводить многократное загружение или длительное сжатие, то разность потенциалов уменьшается и стремится к нулю. Точку **A** стремиться занять вторая характерная точка. Зона упругой работы стремиться расшириться и первая характерная точка смещается. Потенциалы во второй характерной точке выравниваются. Тогда во второй характерной точке должно выполняться условие:

$$\boldsymbol{B_1}\frac{\boldsymbol{\varepsilon_R-\varepsilon}}{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{\boldsymbol{\sigma}}{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{\boldsymbol{B_1(\varepsilon_R \ln\frac{\varepsilon}{\alpha}-\varepsilon+\alpha)}}{\boldsymbol{\varepsilon}}, \text{ тогда } \boldsymbol{\varepsilon_R} = \frac{\boldsymbol{\alpha}}{\boldsymbol{\left(1-\ln\frac{\varepsilon}{\alpha}\right)}} \qquad (2)$$

При сохранении гладкости графика соответственно возрастают предельные деформации. В этом случае при сохранении деформаций и напряжений в этой точке величина $\boldsymbol{\alpha}$ достигнет значения $40\cdot10^5$ и предельные деформации бетона возрастают до $\boldsymbol{\varepsilon}_R = \frac{\boldsymbol{B^*\varepsilon}}{\boldsymbol{B_0}} + \boldsymbol{\varepsilon}$ = 44500·40·10^{-5} /7200+40·10^{-5} =287·10^{-5}. Тогда согласно (20) величина $\boldsymbol{\alpha}$ возрастает до $\boldsymbol{\alpha}$=15,53. Наибольший конфликт возникает в третьей характерной точке ($E_c=B_{02}$=23,7/70·10^{-5}=33860 МПа). Для нее конфликт разрешается при $\boldsymbol{\varepsilon}_R$ = 33860·70·10^{-5} /7200+70·10^{-5} = 399·10^{-5} и $\boldsymbol{\alpha}$ = 27,5·10^{-5}.

Для четвертой характерной точки с координатами R, $\boldsymbol{\varepsilon}_R$ ($E_c=B_{02}$=29,5/200·10^{-5}=14750 МПа) наибольшие деформации составят $\boldsymbol{\varepsilon}_R$ = 14750·200·10^{-5} /7200+200·10^{-5} = 610·10^{-5} и $\boldsymbol{\alpha}$ = 84,5·10^{-5}.

Определим наибольшие деформации $\boldsymbol{\varepsilon_R}$ для бетона В40 по распределению мощности бетона - прямоугольник и треугольник

В этом случае формула потенциала [1]:

$$\boldsymbol{B^* = B\frac{\varepsilon_R-\varepsilon}{\varepsilon} + C\frac{\varepsilon_R^2-\varepsilon^2}{2\cdot\varepsilon_R\cdot\varepsilon}}, \qquad (3)$$

получаем уравнение:

$$\boldsymbol{\frac{29}{211\cdot10^{-5}} = -8899\frac{\varepsilon_R-211}{211} + 24735\frac{\varepsilon_R^2-211^2}{2\cdot\varepsilon_R\cdot211}}.$$

Решение последнего уравнения дает $\boldsymbol{\varepsilon_R}$= 517·10^{-5} . Следовательно, если бы относительные деформации при разрушении определялись бы только пластической частью, то их величина составила бы 610·10^{-5}. Включение в работу псевдопластической части (трещин) снизило относительные деформации при начале разрушения в 1,12 раза. Следовательно, приложение к бетону дополнительной энергии или уменьшение скорости испытаний приводит к увеличению деформаций бетона, однако величина этих деформаций ограничена. Выдержка на отдельных ступенях также увеличивает деформации бетона, но в меньшей степени.

Воспользуемся особенностью касательного модуля, который зависит только от деформаций в точке наибольших напряжений ε_R и не зависит от величины зоны α. Определим изменение характеристик α и ε_R в отдельных точках диаграммы для бетона В40. Выравнивание потенциалов до секущего модуля приводит в точках с деформациями:

$25\cdot10^{-5}$(уровень загружения 9/29=0,31) – $\alpha=8{,}3\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=207\cdot10^{-5}$;

$40\cdot10^{-5}$(уровень загружения 13,5/29=0,47) – $\alpha=13{,}2\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=306\cdot10^{-5}$;

$70\cdot10^{-5}$(уровень загружения 19,5/29=0,67) – $\alpha=23\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=418\cdot10^{-5}$;

$100\cdot10^{-5}$(уровень загружения 23,4/29=0,81) – $\alpha=32{,}8\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=482\cdot10^{-5}$;

$200\cdot10^{-5}$(уровень загружения 28,97/29=0,998) – $\alpha=67{,}5\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=548\cdot10^{-5}$.

Наблюдается рост пластических деформаций и снижение модуля упругости. Если предположить, что при достижении деформаций $40\cdot10^{-5}$ (величина касательного модуля 25203 МПа, секущего 33750 МПа) поставим бетон под длительную нагрузку, то уменьшение разности потенциалов приведет к снижению секущего модуля до касательного. Это приведет к росту деформаций в этой точке до $\varepsilon_t = 53{,}6\cdot10^{-5}$, тогда по вышеприведенным зависимостям получаем $\alpha=32{,}8\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=482\cdot10^{-5}$.

Соответственно для деформаций $70\cdot10^{-5}$ получаем: $\varepsilon_t = 122{,}7\cdot10^{-5}$, $\alpha=54\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=516\cdot10^{-5}$. Для деформаций $100\cdot10^{-5}$ получаем: $\varepsilon_t = 214\cdot10^{-5}$, $\alpha=89{,}8\cdot10^{-5}$ и $\varepsilon_R=533\cdot10^{-5}$.

Графический метод построения диаграмм пластичности бетона

Покажем графический метод и конфликт модулей. Выполним построение диаграммы ползучести. На рисунке1 - **ОА1**- кривая стандартных испытаний. К точке **А** кривой проведем касательный и секущий модули. Далее из точки **О** проведем прямую, параллельную касательному модулю. Расстояние от точки **А** до точки **В** - пересечения горизонтали с параллельной и будет предельная деформация материала в данных условиях при длительном сжатии. При совпадении точек А и В происходит совпадение потенциалов и дальнейшие деформации материала не происходят. Надо отметить, что деформации далее точки В являются наибольшими при данном уровне загружения. Следовательно, деформации для этой точки будут предельными и при длительных нагружениях и при вибрации и при повторных нагружениях. Эти деформации будут проявляться не сразу, а в течение времени. Дальнейшие деформации возможны только при изменении структуры материала или путем повышения напряжений или путем изменения других физических воздействий.

Продолжая действовать аналогичным методом, получаем кривую ползучести, представленную на рисунке 2 и таблице 1. Верхняя кривая на рисунке 2 – это кривая, полученная при стандартных условиях. Нижняя при выборе всех пластических деформаций.

Влияние физических воздействий (например температуры, влажности и пр) можно получить или путем стандартных испытаний в других условиях, или изменением энергетических внешних воздействий на график стандартных испытаний [1,2].

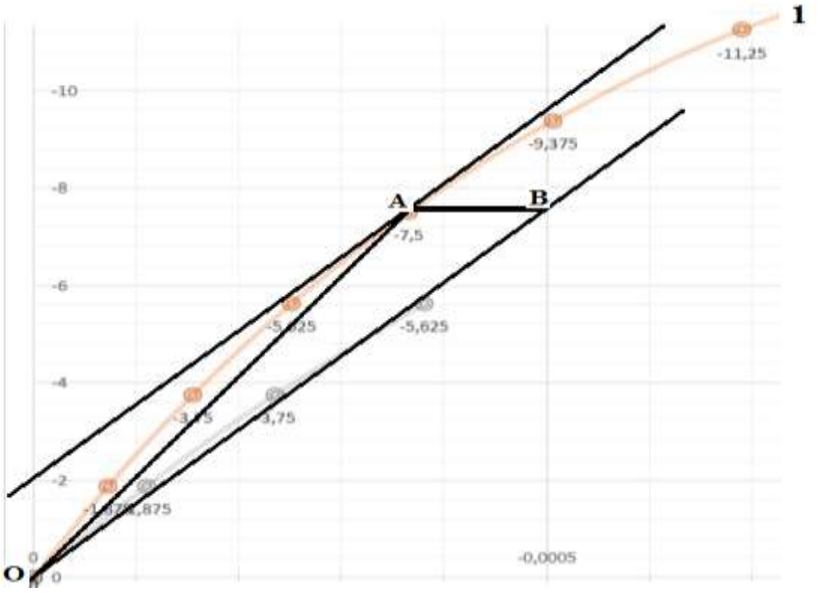


Рисунок 1 - Графическое определение величины ползучести бетона В20

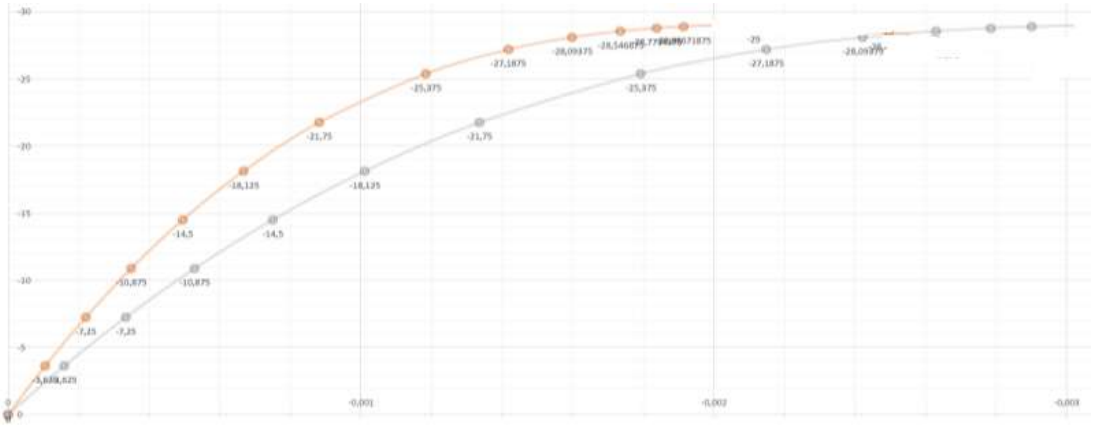


Рисунок 2 - Криволинейные диаграммы деформирования и ползучести В40

Таблица 1

Пластические и упругие деформации бетона В40

Расчетные значения параметров диаграммы для бетона								
Уровень загруже-ния	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
σ, Мпа	-2,9	-5,8	-8,7	-11,6	-14,5	-17,4	-20,3	-23,2
$\xi 1, 10^{-5}$	-8,3	-17,3	-27	-37,6	-49,5	-63	-78,9	-98,7
$\xi 2, 10^{-5}$	-12,6	-26,2	-40,9	-57	-75	-95,4	-119,6	-149,6
$\Delta\xi, 10^{-5}$	-4,3	-8,9	-13,9	-19,4	-25,5	-32,4	-40,7	-50,9

Сравнение расчетов по теории деградации с результатами испытаний А.Б. Голышева [3,4], Я.Д. Лившица [5], А.В. Яшина[6,7] и СП[8].

Результаты сравнения с данными испытания испытаний А.Б.Голышева и Я.Д. Лившица приведены в таблице 2

Таблица 2

Сравнение величин параметров ползучести и усадки бетонов
по А.Б. Голышеву, по Я.Д.Лившицу и теории деградации

Класс бетона	Значение ползучести, 10^5 1/МПа для бетона					
	B20	B30	B40	B50	B60	B70
Значения по теории деградации	14,4	12,6	11,1	6,8	5,97	3,3
Табличные значения по Голышеву	14,0	9,9	7,7	6,2	5,3	4,5
Процент расхождения данных, %	3	21	31	9	11	27
Табличные значения по Лившицу	12,4	8,9	7,2	6	5,3	4,7
Процент расхождения данных, %	14	24	28	0,3	2	38
Усадка, 10^{-6}	338	456	553	361	378	196

Сравнение с экспериментальными графиками, полученными А.В. Яшиным для бетонов B20-B70 показано на рисунке 3.

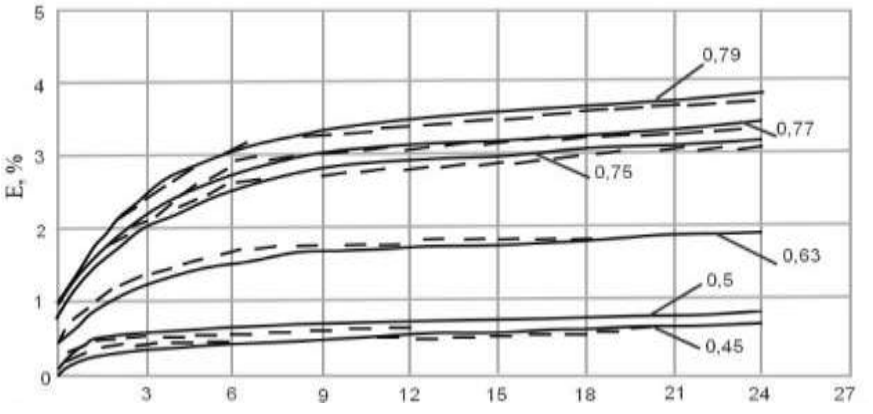


Рисунок 3 - Результаты сравнения расчетов А.В. Яшина и теории деградации

Результаты сравнения с данными приведенными в СП показаны в таблице 3

Таблица 3

Сравнение данных, полученных по СП с расчетами по теории

Возраст загружения	Мера ползучести бетона при длительности загружения								
	0	10	25	50	100	200	500	1000	1500
Данные СП	0	0,21	0,46	0,65	0,80	0,91	0,98	1,00	1,00
Расчетные	0	0,193	0,40	0,579	0,712	0,846	0,892	0,96	0,95
Расхождение, %	0	8,1	13	10,9	11	7	9	4	5

Заключение. Разработка теории деградации позволяет строить пластические деформации по результатам кратковременных испытаний.

Исходя из приведенных данных, можно отметить, что экспериментальные и расчетные данные близки по значениям между собой. Расхождения разнородны и связаны с разнообразными свойствами

конкретных бетонов и условиями испытаний. Результат анализа нормативно-технической документации, научной литературы и экспериментальных данных, расчетов и построения диаграмм деформирования и пластичности бетона, расчетов и анализов ползучести и усадки бетонов была выявлена важность теории деградации. Особенную роль, в которой играет конфликт модулей.

Благодаря результатам исследования, было доказано, что с помощью графиков криволинейного деформирования и ползучести бетонов возможно предсказать его дальнейшее поведение.

Список использованных источников

1. Варламов А.А. О проектировании диаграммы поведения бетона / А.А.Варламов // Бетон и железобетон. –2016 – №1 – С. 6-8
2. Варламов А.А. Модели поведения бетонов. Теория деградации: монография / А.А.Варламов, В.И, Римшин – М: ИНФРА-М, 2019 -436 с.
3. Голышев, А.Б. Расчет железобетонных стержневых конструкций с учетом фактора времени: Пособие для проектировщиков / А.Б.Голышев, В.П. Полищук, И.В. Руденко – Киев: Будивельник – 1975 – 112 с.
4. Голышев А.Б. К разработке прикладной теории расчета железобетонных конструкций / А.Б.Голышев, В.Я. Бачинский // Бетон и железобетон –1985 – №6.
5. Лифшиц Я.Д. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона / Я.Д. Лифшиц ; Киев: – «Вища школа» – 1971 – 231 с.
6. Яшин А.В. Ползучесть бетона в раннем возрасте / А.В.Яшин // Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций – вып. 4 – Госстройиздат – 1959.
7. Яшин А.В. Прочность и деформации бетонов при различных скоростях нагружения / А.В. Яшин // Воздействие статических, динамических и многократно повторяющихся нагрузок на бетон и элементы железобетонных конструкций – М. – Стройиздат – 1972 – С. 23-39
8. СП63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003*. дата введения 2019-20-06 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 139 с.

УДК 69+72(063)
28.17.19: Математическое моделирование

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Воронова Наталья Петровна
Кандидат технических наук, доцент кафедры "Математические методы в строительстве"
Белорусский национальный технический университет e-mail: vornat54@gmail.com

Березовский Николай Иванович
Доктор технических наук, профессор кафедры "Горные машины"
Белорусский национальный технический университет

Павлович Дмитрий Вячеславович
Студент группы 11006125
Белорусский национальный технический университет

Романов Савелий Иванович
Студент группы 11006125
Белорусский национальный технический университет

Одной из приоритетных проблем в любом производстве является проблема энергосбережения, входящая в перечень общенациональных задач любой развитой страны.

В Республике Беларусь протяженность автомобильных дорог общего пользования составляет более 86500 км, из них более 15500 км с асфальтобетонным покрытием. Для поддержания сети таких дорог в работоспособном состоянии ежегодно требуется порядка 2 миллионов тонн асфальтобетонных смесей.

На асфальтобетонных заводах энергопотребление при производстве «горячих» асфальтобетонных смесей составляет $(3,0-3,5)*10^2$ МДж/т. Это почти в 1,5 раза выше, чем в передовых странах [6].

В дорожном строительстве имеются резервы снижения энергозатрат за счет совершенствования технологии производства, особенно с использованием уже имеющегося оборудования и без привлечения дополнительных капитальных затрат.

Соблюдение оптимальных температурных режимов на этапах устройства дорожных покрытий обеспечивает нужные показатели ровности и плотности, определяющие долговечность покрытия.

Техническими правилами [8,7] установлены интервалы рабочих температур: температура горячей смеси при выгрузке из смесителя 140 °С - 160 °С, при укладке в покрытие не менее 120 °С, при укладке уплотняемой смеси не ниже 80 °С. Для снижения энергоемкости процесса требуется оптимальное сочетание температуры смеси, погодно-климатических факторов, количества и типов средств транспортировки, укладки и уплотнения смеси. Поэтому очень важна разработка методов расчета температуры смеси на всех этапах ее приготовления.

Процесс приготовления «горячих» асфальтобетонных смесей состоит из нагрева в сушильном барабане каменных материалов, таких как щебень и песок и смешивания их с нагретым битумом и с «холодными» материалами, например, с минеральным порошком или специальными добавками. Компоненты в смесителе имеют различные температуры T и массы m.

Поставим задачу по определению температуры полученной смеси на стадии проектирования. Для этого воспользуемся законом сохранения энергии [5]

$$Q_{приос.} = \sum Q_{расх.} \cdot \tag{1}$$

При смешивании компонентов осуществляется испарение содержащейся в них влаги и выравнивание температур, следовательно уравнение (1) в форме энтальпии примет вид [3]:

$$\begin{aligned} & m_{щ} C_{щ}^{T_к} T + m_{п} C_{п}^{T} T + m_{Д} C_{Д}^{T_0} T_0 + m_{б} C_{б}^{T_б} T_{б} + \sum_i m_{bi} C_{б} T_i = \\ & = (m_{щ} C_{щ}^{T_к} + m_{п} C_{п}^{T_к} + m_{Д} C_{Д}^{T_к} + m_{б} C_{б}^{T_б}) * T_{к} + q^{T_к} \sum_i m_{bi} \end{aligned}, \tag{2}$$

где $C_щ, C_п, C_Д, C_б, C_в$ — теплоёмкость щебня, песка, добавок, битума, воды соответственно с температурой $T, T_0, T_б, T_к$ (Дж/кг*к); $m_щ, m_п, m_Д, m_б, m_{bi}$ – массы компонента (кг); q – удельная теплота испарения воды при заданной температуре (Дж/кг).

Теплофизические характеристики существенно зависят от температуры. В работе [4] предложена методика определения функциональных зависимостей теплофизических коэффициентов от температуры. Результаты аппроксимации точечных значений удельной теплоемкости для амплитуды температур, характерных технологическому процессу: для щебня из карьера «Микашевичи» $C_щ = 1{,}27\,T + 412{,}8$; для песка $C_п = 1{,}143\,T + 515{,}1$; для добавки в виде минерального порошка $C_Д = 0{,}2\,T + 1294{,}6$; для битума $C_б = 7{,}1\,T - 738{,}3$; для воды теплоемкость есть величина постоянная $C_в = 4190$; для $q = -173{,}75\,T + 420994{,}1$ [1].

Рассмотрим в качестве примера расчет температуры Т, до которой необходимо нагреть щебень и песок для асфальтобетонной смеси, состоящей из 65 % по массе щебня с влажностью 0,5 %; 15 % песка с влажностью 0,3 %; 12 % минерального порошка с влажностью 5 % и 8 % битума. В качестве температур компонент возьмем: температура минерального порошка $T_0 = 290$ К; температура битума $T_б = 390$ К; температура при смешивании $T_к = 415$ К.

При технологически заданной температуре $T_к$ рассчитаем температуру, до которой необходимо нагреть компоненты смеси перед их поступлением в смеситель, считая $T_щ, T_б, T_0$ технологически заданными.

Определим массы компонент:

$$m_щ = 0{,}65(1 - 0{,}005) = 0{,}6467, \quad m_{щв} = 0{,}65 * 0{,}005 = 0{,}00325,$$
$$m_п = 0{,}15(1 - 0{,}003) = 0{,}14955, \quad m_{пв} = 0{,}00045,$$
$$m_д = 0{,}12\,(1 - 0{,}05) = 0{,}114, \quad m_{дв} = 0{,}006,$$
$$m_б = 0{,}08.$$

Удельные теплоемкости компонентов и удельная теплота:

$$q^{Тк} = -173{,}75 * 415 + 426994{,}1 = 354887{,}85,$$
$$C_{щтк} = 1{,}27 * 415 + 412{,}87 = 939{,}92,$$
$$C_{птк} = 1{,}143 * 415 + 515{,}1 = 989{,}445,$$
$$C_{дтк} = 0{,}2 * 415 + 1294{,}6 = 1211{,}6,$$
$$C_{бтк} = 7{,}1 * 415 - 738{,}3 = 2208{,}2,$$
$$C_{мпт0} = -0{,}2 * 290 + 1294{,}6 = 1236{,}6,$$
$$C_{бтб} = 7{,}1 * 390 - 738{,}3 = 2030{,}7.$$

Подставляя найденные значения в уравнение (2), получим:

$$0{,}6467 * (1{,}27T + 412{,}87) * T + 0{,}14955 * (1{,}143T + 515{,}1) * T + 0{,}114 *$$
$$* 1236{,}6 * 290 + 0{,}08 * 2030{,}7 * 390 + 0{,}0097 *$$
$$* 4190 * T = (0{,}6467 * 939{,}92 + 0{,}14955 * 989{,}445 +$$
$$+ 0{,}114 * 1211{,}6 + 0{,}08 * 2208{,}2) * 415 + 354887{,}85 * 0{,}0097.$$

Раскрывая скобки и приведя подобные, имеем квадратное уравнение относительно неизвестного значения Т, получим:

$$0{,}9922 * T^2 + 403{,}26 * T - 343364{,}5 = 0.$$

Выбираем положительный корень уравнения $T \approx 425{,}65\,К$, следовательно щебень и песок при заданных условиях необходимо нагревать до 152,5 °С.

Предложенная методика позволяет определить температуру нагрева смеси в сушильном барабане с учетом остывания при транспортировке [2]. Результаты исследования включены в нормативный дорожно-методический документ «Энергосберегающие технологии приготовления и применения горячих асфальтобетонных смесей» для Департамента «Белавтодор».

Список использованных источников

1. Березовский, Н. И. Использование местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в производстве пористых строительных материалов / Н. И. Березовский, Н. П. Воронова [и др.]. – Минск : БНТУ, 2014. – 129 с.
2. Воронова, Н. П. Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств : монография / Н. П. Воронова. – Минск : БНТУ, 2009. – 260 с.
3. Воронова, Н. П. Математическое моделирование теплотехнологических процессов приготовления асфальтобетонных смесей / Н. П. Воронова, С. Е. Кравченко [и др.] // II междунар. науч.-практ. семинар по реализации задач государственной программы... – Минск, 2007.
4. Воронова, Н. П. Математическое моделирование энергосберегающих режимов нагрева, сушки и термообработки : монография / Н. П. Воронова. – Минск : БНТУ, 2006. – 86 с.
5. Енохович, А. С. Справочник по физике и технике : учебное пособие / А. С. Енохович. – Москва : Просвещение, 1989. – 224 с.
6. Котлярский, Э. В. Строительно-технические свойства дорожного асфальтового бетона : учебное пособие / Э. В. Котлярский. – Москва, 2004. – 194 с.
7. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний : СТБ 1115-2004. – Введ. 01.01.05. – Минск : Госстандарт, 2004.
8. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2004. – Введ. 01.01.05. – Минск : Госстандарт, 2004.

УДК 624.012.45+721,011

67.09.39 Строительство. Архитектура. Строительные материалы и изделия. Металлы, используемые в строительстве, и изделия из них

КОНЦЕПЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ (FE-SMA) НА ЭВОЛЮЦИЮ БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ СТАЛЬНЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Голубева Екатерина Александровна

ФГБОУ ВО Уральский Государственный Архитектурно-Художественный Университет имени Н.С.Алфёрова, кандидат архитектуры, заведующая кафедры «Современные технологии архитектурно-строительного проектирования»

e-mail: golubeva@usaaa.ru

Волкова Дарья Сергеевна

аспирантка кафедры современные технологии архитектурно-строительного проектирования, Уральский Государственный Архитектурно-Художественный Университет имени Н.С.Алфёрова

e-mail: dariavolkova2010@gmail.com

Аннотация

Исследование раскрывает концептуальные предпосылки для интеграции железосодержащих сплавов с памятью формы в практику создания большепролётных архитектурных конструкций. Анализируется, как уникальные свойства материала — способность создавать контролируемое предварительное напряжение при нагреве — преодолевают традиционные ограничения статического проектирования.

Рассматриваются три ключевых аспекта влияния на архитектуру:

1) Дематериализация структур — снижение массы и визуальной массивности конструкций;

2) Новая эстетика в архитектуре и дизайне определяется возможностью создавать адаптивные, кинетические и криволинейные объекты, реализация которых раньше была технически невозможна;

3) Устойчивость через регенерацию — увеличение срока службы архитектурных памятников и сокращение потребления ресурсов.

Доказывается, что Fe-SMA выступает не просто инженерным инструментом, а катализатором новой архитектурной парадигмы, где материал, форма и поведение конструкции образуют синергетическое целое.

Ключевые слова: Fe-SMA, архитектурная выразительность, большепролетные конструкции, адаптивная архитектура, устойчивое развитие, предварительное напряжение, кинетические структуры, регенерация.

От статики к динамике в архитектурном формообразовании.

Архитектура большепролетных сооружений — спортивных комплексов, музеев, аэропортов, выставочных залов — исторически была областью напряженного диалога между смелым замыслом архитектора и суровыми законами статики. Стремление к легкости, прозрачности и сложной геометрии наталкивалось на физические ограничения традиционных материалов: прогибы, потерю устойчивости, сложность монтажа.

Стальные конструкции, обладая высокой прочностью, позволили совершить значительный рывок, однако и они подчинялись системе «вялое сопротивление». Конструкция рассчитывалась на наихудшую комбинацию нагрузок, что зачастую вело к избыточному запасу, утяжелению элементов и, как следствие, к визуальной массивности. Форма следовала за силовым потоком, но не могла активно им управлять.

Появление и внедрение в строительную практику сплавов с эффектом памяти формы (Fe-SMA) знаменует собой принципиальный сдвиг. Данная технология смещает фокус с пассивного сопротивления нагрузкам на активное управление напряженно-деформированным состоянием конструкции. Fe-SMA — это «интеллектуальный» материал, способный после монтажа и активации нагревом развивать значительное усилие, возвращаясь к своей исходной форме. Это свойство открывает перед архитекторами и инженерами новые горизонты, позволяя трансформировать классические конструкции в адаптивные системы, способные реагировать на различные изменения.

Цель статьи — концептуально продемонстрировать трансформационный потенциал сплава с памятью формы Fe-SMA в архитектуре: как его развитие способно изменить принципы проектирования большепролётных сооружений.

Сплав памяти формы как материал архитектурной революции: Физические основы.

- Принцип «запомненной» формы:

Эффект памяти формы основан на обратимом мартенситном превращении. Материалу в аустенитной фазе (при высокой температуре) придается первоначальная форма. После охлаждения он переходит в мартенситную фазу и может быть подвергнут значительной деформации (до 8%). Последующий нагрев выше температуры активации (для Fe-SMA это комфортные 120–180°C) вызывает обратное превращение, в ходе которого материал «вспоминает» свою исходную форму и стремится к ней, развивая усилие до 500 МПа.

Ключевые для архитектора свойства:

- Активное усилие: Возможность «включать» несущую способность постфактум.
- Адаптивность: Способность к многократной активации (до 100циклов).
- Интегрируемость: Fe-SMA совместимы со сталью, могут быть элементом гибридной конструкции.

Архитектурные последствия применения Fe-SMA. Три похода:
Первый поход. Концепция «снижения материалоемкости»: феномен невесомости в архитектурном формообразовании:

- Fe-SMA позволяет радикально снизить массу и сечение несущих элементов без потери прочности, создавая визуальный эффект невесомости и парящих форм.
- Активное предварительное напряжение, создаваемое элементами из Fe-SMA, компенсирует эксплуатационные нагрузки (собственный вес, снег). Это позволяет проектировать балки, фермы и арки с меньшей жесткостью и сечением, так как они изначально «разгружены».

Архитектурные проявления:

- Конструкция с эффектом невесомости: Несущий каркас становится настолько тонким и изящным, что перестает доминировать в пространстве, уступая первенство свету, объему и виду остекления. Пример: большепролетное перекрытие аэропорта, где традиционные массивные фермы заменены на систему тонких предварительно напряженных тросов и стержней с интегрированными Fe-SMA-элементами. Визуально потолок воспринимается как легкая мембрана.
- Эффект «стеклянной оболочки»: Снижение веса конструкции позволяет увеличить площадь светопрозрачных ограждений, стирая границу между интерьером и ландшафтом. Эффект «стеклянного куба» пролетом в 100 метров становится технически и экономически достижимым.
- Архитектура прозрачной несущей системы: Архитекторы получают возможность играть на контрасте между визуальной хрупкостью тончайших элементов и их заявленной прочностью, создавая запоминающиеся образы.

Второй подход: Архитектура как живой организм: рождение новой поэтики пространственных форм.

Fe-SMA позволяет создавать конструкции, которые не просто стоят, а «проявляют себя» — изменяют свою геометрию, жесткость и форму в ответ на внешние воздействия или требования функции.

Элементы из Fe-SMA встраиваются как элементы силовой передачи, аналогичные мышечным тканям. Система датчиков и контроллеров, отслеживая нагрузки или команды, инициирует их нагрев, заставляя конструкцию целенаправленно деформироваться.

Архитектурные проявления:

- Кинетические фасады и покрытия: Здание может «дышать». Сотовидная структура фасада большого концертного зала, оснащенная Fe-SMA-актюаторами, меняет свою геометрию для эффективного использования электроэнергии и ресурсов: может быть интеллектуальная система управления энергопотребления.
- Адаптивные планы: Адаптивная архитектура предлагает решения, позволяющие изменить конфигурацию помещений, создать многофункциональные зоны, необходимые пространства и перемещаемые блоки. Как пример, большепролетное перекрытие, поддерживаемое системой умных колонн с Fe-SMA, позволяет перераспределять нагрузки, убирая или перемещая опоры, тем самым изменяя планировку огромного зала.
- Динамическая скульптура: Архитектура сближается с инсталляцией. Конструкция становится медиа-объектом, чья форма плавно изменяется, создавая постоянно обновляющийся архитектурный ландшафт. Например, «танцующий» атриум, элементы перекрытия которого совершают медленные, волнообразные движения.
-

Подход третий. Система устойчивости, основанная на принципах реконструкции: архитектура как процесс диалога с течением времени.

Архитектурное наследие — это неотъемлемая часть культурной идентичности любой нации. Исторические здания и памятники, сохранившиеся до наших дней, рассказывают о прошлом, отражают традиции, стили и технологические достижения своего времени. Восстановление и сохранение этих объектов являются важными задачами, требующими комплексного подхода и профессиональных знаний.

Первостепенное значение архитектурного наследия заключается в его культурной ценности. Каждый исторический объект несет в себе уникальную историю и характер, а его сохранение позволяет будущим поколениям понять и оценить богатство культурного контекста. Однако время и человеческая деятельность нередко наносят ущерб таким зданиям. Поэтому их восстановление становится необходимым шагом для предотвращения утраты исторической памяти.

Архитектурные проявления:

- Невидимое усиление: Реконструкция знакового объекта модернизма — выставочного павильона с тонкостенными стальными арками. Вместо громоздких подпорок, искажающих первоначальный

замысел архитектора, в полости арок внедряются стержни Fe-SMA. После активации они восстанавливают несущую способность, оставаясь абсолютно невидимыми для посетителя. (Архитектурный образ сохранен, инженерная проблема решена.)

- Конструкции с открытым будущим: Проектируя общественное здание с большепролетной конструкцией, архитектор может заложить в него так называемые, «точки роста» — узлы, которые позволяют гибко адаптировать пространство под будущие изменения функций, технологические модернизации или развитие городской среды. В данные узлы в будущем могут быть установлены и активированы элементы Fe-SMA для увеличения пролетов, навески дополнительных этажей или изменения конфигурации. Это архитектура, рассчитанная на эволюцию, а не на застывшую статику.
- Экологическая безопасность: Снижение материалоемкости новых конструкций и сохранение существующих каркасов радикально сокращает углеродный след, что соответствует целям устойчивого развития и создает новую этику архитектурного проектирования.

Вызовы и перспективы.

Внедрение Fe-SMA сталкивается с препятствиями:

- Высокая стоимость материала по сравнению с обычной сталью.
- Отсутствие нормативной базы и опыта у проектировщиков.
- Психологический барьер: недоверие к «умным» материалам, чье поведение отличается от классических.

Однако перспективы перевешивают:

- Цифровая синергия: Интеграция Fe-SMA с BIM-моделями и системами AI для создания цифровых двойников, способных прогнозировать и оптимизировать поведение конструкции.
- Биомимикрия: имитация природных моделей, систем и элементов для решения человеческих задач.
- Новая роль архитектора: Архитектор из создателя форм становится конструктором сложных, живых систем, где каждый строительный элемент и каждый байт данных служат одной цели — сделать городское пространство более удобным, устойчивым и безопасным для жизни.

Технология Fe-SMA — это не очередной шаг в эволюции строительных материалов, а качественный скачок, разрывающий вековую связку «форма следует за функцией» в ее статическом понимании. Она заменяет ее на более сложную систему: «форма следует за поведением».

Это открывает путь к архитектуре, которая:

- Визуально — ориентирован на достижение визуальной невесомости и минимизацию материальной составляющей.
- Функционально — является гибкой, адаптивной и отзывчивой.
- Этически — Нацелена на долговечность, способность к самовосстановлению и взаимодействие с архитектурным наследием.

Таким образом, сплавы с памятью формы Fe-SMA выступают ключевым инструментом в формировании новой архитектурной эстетики XXI века, где границы между искусством, технологией и наукой о материалах становятся все более проницаемыми, а сама архитектура обретает, наконец, долгожданную динамическую свободу.

Список использованных источников

1. Addington, M., & Schodek, D. (2005). *Smart Materials and New Technologies: For the Architecture and Design Professions*. Architectural Press.
2. Kolarevic, B., & Malkawi, A. M. (Eds.). (2005). *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*. Routledge.
3. Czaderski, C., et al. (2020). Iron-based shape memory alloys for prestressed strengthening of steel structures. *Engineering Structures*.
4. Oxman, N. (2010). Structuring materiality: Design fabrication of heterogeneous materials. *Architectural Design*.
5. Bechthold, M. (2008). *Innovative Surface Structures: Technologies and Applications*. Taylor & Francis.

6. Король, Е. А. Адаптивные конструкции в архитектуре: принципы формообразования / Е. А. Король, Т. В. Золотарева // Архитектура и строительство России. — 2021. — № 2. — С. 42–49
7. Czaderski, C. Iron-based shape memory alloy (Fe-SMA) for strengthening of steel structures / C. Czaderski, M. Shahverdi, M. Motavalli // Engineering Structures. — 2019. — Vol. 189. — P. 576–586. — DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.03.099.
8. Michels, J. Iron-based shape memory alloys for civil engineering structures: state of the art and future perspectives / J. Michels, M. Shahverdi, C. Czaderski // Construction and Building Materials. — 2020. — Vol. 263. — Art. 120578. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120578.
9. https://www.archdaily.com/993206/what-is-regenerative-architecture-limits-of-sustainable-design-system-thinking-approach-and-the-future
10. Агеева Е.Ю., Филиппова М.А. А 23 Большепролетные спортивные сооружения: архитектурные и конструктивные особенности.: Учебное пособие. –Н. Новгород: Издательство Нижегородского гос. архит.– строительногоуниверситета, 2014. –84 с.
11. Кудрин, Б. И. Архитектурная бионика : монография / Б. И. Кудрин. — М. : Архитектура-С, 2018. — 288 с. — ISBN 978-5-9647-0324-1.
12. Ремизова, Е. В. Бионика в архитектуре: история и современность / Е. В. Ремизова // Архитектура и строительство России. — 2021. — № 4. — С. 56–63.
13. Шубенков, М. В. Структурные закономерности архитектурного формообразования / М. В. Шубенков. — М. : Архитектура-С, 2016. — 320 с. — ISBN 978-5-9647-0298-5.
14. Vincent, J. F. V. Biomimetics — a review / J. F. V. Vincent // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine. — 2009. — Vol. 223, № 8. — P. 919–939. — DOI: 10.1243/09544119JEIM579.
15. https://archshapka.ru/tpost/tzimfd7fa1-umnii-gorod-kak-arhitektori-stanovyatsya?ysclid=mogwbbei60844987221

УДК691.11
67.09.41 Древесина и строительные изделия из нее

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ВО ВНУТРЕННЮЮ ОТДЕЛКУ ПОМЕЩЕНИЙ

Киселева Олеся Анатольевна,
канд. техн. наук, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений»,
e-mail: kiseleva_oa@rambler.ru

Никулина Анастасия Эдуардовна,
студент магистратуры, e-mail: nicky_tmb@mail.ru

В статье на основе анализа литературных источников рассмотрено влияние размера частиц древесных отходов (опилок) на физико-механические свойства древесных плит, используемых для внутренней отделки помещений. Описаны теоретические закономерности изменения прочности, плотности, водопоглощения и других характеристик при варьировании дисперсности наполнителя. Приведены данные, связывающие размер частиц с предельными свойствами композита. Даны практические рекомендации по выбору оптимального фракционного состава древесных отходов.

Ежегодно в России образуется более 40 млн тонн отходов лесопиления и деревообработки, из которых значительная часть не находит полезного применения и складируется на полигонах или сжигается [1]. Такое обращение с отходами наносит ущерб окружающей среде и противоречит принципам циклической экономики. Перспективным направлением утилизации древесных отходов является производство композитных древесных материалов для внутренней отделки жилых и общественных зданий.

Древесные плиты на основе опилок (или стружки) и полимерного безопасного связующего сочетают экологичность, доступность сырья и удовлетворительные физико-механические характеристики. Среди множества технологических параметров, влияющих на качество готового изделия, одним из ключевых является дисперсность – размер частиц древесного наполнителя.

Цель данной работы – на основе обобщения имеющихся литературных данных проанализировать влияние дисперсности древесных отходов на физико-механические свойства древесных материалов и сформулировать практические рекомендации по выбору фракционного состава для различных условий эксплуатации.

Для внутренней отделки применяют древесные плиты удовлетворяющие в идеале следующим требованиям:

- предел прочности при изгибе – не менее 10 МПа (для настенных панелей) и не менее 15 МПа (для напольных покрытий);
- водопоглощение за 24 часа – не более 20% для помещений с нормальной влажностью;
- плотность – в диапазоне 500–800 кг/м³ (обеспечивает баланс прочности и веса);
- экологическая безопасность – низкая эмиссия формальдегида (класс эмиссии E0 или E1).

Все перечисленные характеристики зависят от свойств исходного сырья, и дисперсность наполнителя играет здесь определяющую роль.

Теоретические основы влияния размера частиц

При уменьшении размера частиц опилок (стружки) происходят следующие процессы.

Удельная поверхность. Суммарная площадь поверхности частиц S_u (м²/кг) обратно пропорциональна их среднему диаметру d (м):

$$S_u = 6/(\rho \cdot d) \quad (1)$$

где ρ – плотность древесины, кг/м³.

Из формулы (1) следует, что при уменьшении d в 10 раз удельная поверхность возрастает также в 10 раз. Это означает, что мелкие опилки могут образовать со связующим значительно большее число контактов, что потенциально повышает прочность композита.

Упаковка частиц. Плотность упаковки монодисперсных сферических частиц при свободной засыпке составляет около 64%. Для частиц неправильной формы этот показатель может варьироваться. При использовании смеси фракций возможно достижение более плотной упаковки за счёт заполнения пустот между крупными частицами мелкими.

Распределение связующего. При фиксированном массовом содержании связующего толщина слоя клея на поверхности частицы h (м) может быть оценена как:

$$h = (m_\beta/S_u) \cdot (1/\rho_\beta) \quad (2)$$

где m_β – массовая доля связующего, ρ_β – плотность связующего, кг/м³.

С уменьшением размера частиц толщина слоя связующего уменьшается, что приводит к более равномерному и тонкому покрытию.

В таблице 1 представлены расчётные значения удельной поверхности для частиц разного размера при плотности древесины 500 кг/м³.

Проследим связь характеристик древесных плит с дисперсностью наполнителя.

С уменьшением размера частиц прочность композита должна монотонно возрастать. Однако экспериментальные данные, обобщённые в работах [2, 3], показывают немонотонный характер этой зависимости.

Таблица 1

Удельная поверхность опилок в зависимости от размера

Средний размер частиц, мм	Удельная поверхность, м²/кг
2,0	6,0
1,0	12,0
0,5	24,0
0,25	48,0
0,1	120,0

При переходе к фракции мельче 0,16–0,20 мм наблюдается снижение прочности плит при изгибе на 10–20% по сравнению с оптимумом. Причины этого явления:

- агломерация (слипание) сверхмелких частиц в конгломераты, внутрь которых связующее не проникает;
- резкое повышение вязкости смеси, затрудняющее равномерное распределение связующего;
- увеличение доли связующего, расходуемого на пропитку пылевидных фракций без формирования эффективных межчастичных связей.

Таким образом, зависимость предела прочности при изгибе от среднего размера частиц d описывается кривой с максимумом в диапазоне d_{opt} = 0,2–0,5 мм.

На основе анализа публикаций [1–5] можно сформулировать следующие количественные закономерности (таблица 2) влияния дисперсности на свойства.

Таблица 2

Влияние размера опилок на свойства композитных панелей (обобщение)

Размер частиц, мм	Плотность, кг/м³	σ изг, МПа	W 24, %
1,0 – 2,0	400 – 480	4 – 6	30 – 38
0,5 – 1,0	480 – 560	6 – 9	24 – 30
0,25 – 0,5	560 – 660	8 – 12	18 – 24
0,16 – 0,25	650 – 720	10 – 13	14 – 18
< 0,16	680 – 750	8 – 11	12 – 16

Из представленных в таблице данных вытекает следующее.

1. Плотность монотонно возрастает с уменьшением размера частиц, так как мелкие опилки плотнее упаковываются в объёме пресс-формы.
2. Прочность при изгибе сначала растёт (от крупных к средним фракциям), достигает максимума в диапазоне 0,16–0,25 мм, затем снижается для пылевидных фракций.
3. Водопоглощение монотонно снижается с уменьшением размера частиц, так как уменьшается объём открытых капилляров и повышается плотность материала.

Влияет дисперсность и на долговечность древесных плит, а также их закономерности разрушения (рис. 1). Для большинства видов древесностружечных плит зависимости принимают вид прямого (пучка), т.е. сходящегося в одну точку (полюс) в области больших напряжений. Исключение составляет ДСП с мелкой стружкой плотностью 800 кг/м3, для которой зависимость представляет собой семейство параллельных прямых. Такой характер зависимостей характерен для материалов со слабыми дополнительными связями [6]. Если рассчитать долговечность по данным зависимостям, то мы получим следующее. При одинаковых условиях (влажности, температуре и нагрузке) время до разрушения ДСП с дисперсной стружкой составит 2 года, а ДСП с мелкой стружкой всего лишь 1 день.

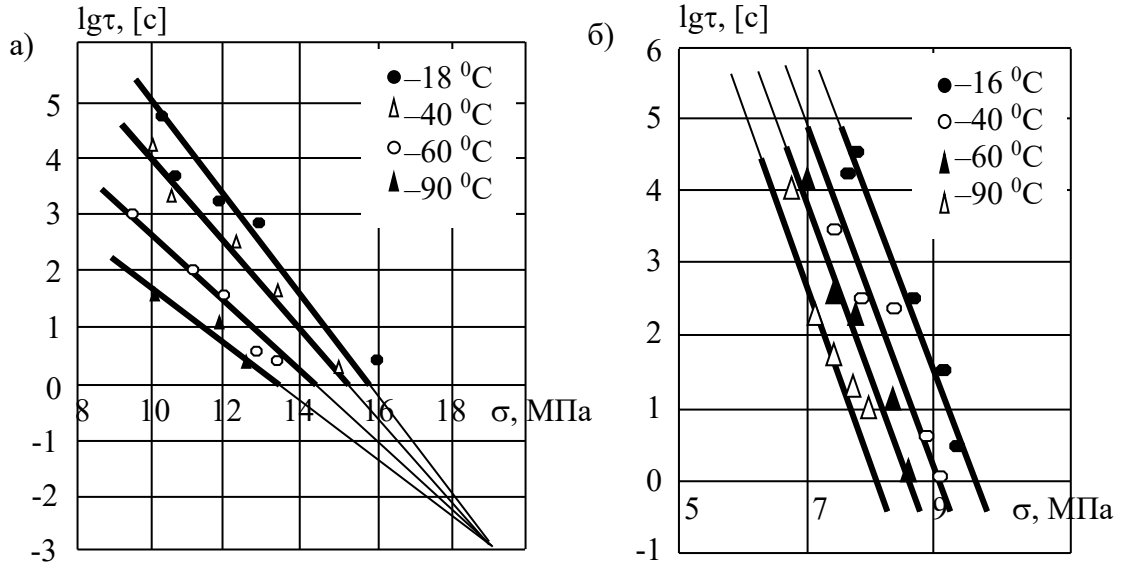


Рисунок 1. Зависимость долговечности от напряжения при поперечном изгибе для древесностружечных плит плотностью: а) 700 с высокой дисперсностью стружки, б) 800 с мелкой стружкой низкой дисперсности кг/м^3.

На основе приведенных выше исследований вытекают следующие рекомендации по выбору фракции:

Для помещений с нормальной влажностью (жилые комнаты, офисы) подойдут плитные материалы со следующими характеристиками:

- оптимальный размер опилок – 0,25–0,5 мм;
- ожидаемая прочность – 8–12 МПа;
- ожидаемое водопоглощение – 18–24%.

Для помещений с повышенной влажностью (кухни, ванные комнаты):

- рекомендуемая фракция – 0,16–0,25 мм (при этом будет самое низкое водопоглощение);

- обязательна дополнительная гидрофобизация поверхности панелей.

Для декоративных ненагруженных панелей (потолочные, перегородки):

- допустимо использование фракции древесных отходов в диапазоне 0,5–1,0 мм;
- это удешевляет производство и создаёт более выраженную текстуру.

Фракции, которых следует избегать:

- крупные опилки (>1 мм), так как они дают низкую прочность и высокое водопоглощение;
- пылевидные фракции (<0,16 мм), так как происходит падение прочности из-за агломерации и сложности смешивания.

На основе анализа литературных данных можно сделать следующие выводы:

1. Дисперсность древесных отходов является одним из важнейших параметров, определяющих физико-механические свойства древесных плит.
2. С уменьшением размера частиц наполнителя (до определённого предела) возрастают плотность и прочность, снижается водопоглощение – это объясняется увеличением удельной поверхности, улучшением упаковки и более равномерным распределением связующего.
3. Существует оптимальный диапазон дисперсности наполнителя (0,16–0,50 мм), при котором достигается наилучшее сочетание свойств. Дальнейшее измельчение сырья до пылевидного состояния (<0,16 мм) приводит к снижению прочности готовых плит из-за агломерации частиц.
4. Для практического применения рекомендуется использовать в обычных помещениях плиты с фракции фракцией древесных отходов 0,25–0,5 мм, а для влажных условий – 0,16–0,25 мм.

Список использованных источников

1. ГОСТ 10635-2019. Плиты древесно-стружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости. М.: Стандартинформ, 2019. 14 с.
2. Иванов П.А., Петров С.В. Переработка древесных отходов в России: состояние и перспективы // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. №4. С. 24–29.
3. Kumar A., Gupta A. Effect of particle size on mechanical properties of wood-polymer composites // Journal of Composite Materials. 2021. Vol. 55. No. 10. P. 1345–1356.
4. Петрова Е.И., Смирнов В.К. Влияние размера частиц древесного наполнителя на свойства полимерных композитов // Пластические массы. 2020. №5. С. 32–35.
5. Сафин Р.Г., Хасанов Р.Р. Модификация древесных композиционных материалов мелкодисперсными наполнителями // Вестник Казанского технологического университета. 2022. Т. 25. №7. С. 112–118.
6. Yartsev V.P. The Influence of Composition and Structure on the Performance Properties of Wood Composites / Yartsev V.P., Kiseleva O.A.// Advanced Materials & Technologies -Tambov, Tambov State Technical University, 2020, № 4 (20), P. 41-57

УДК 625.7/8

67.13.69: Строительно-дорожные и путевые работы

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛИТЫХ СМЕСЕЙ

Колесников Кирилл Сергеевич,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, e-mail: kkk.2003.k@mail.ru

Зубков Анатолий Федорович,

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» e-mail: afzubkov2013@yandex.ru

Обеспечение высокой долговечности покрытий, снижение сроков производства работ и повышение эксплуатационной надежности транспортной инфраструктуры является одним из важных направлений в современном дорожном строительстве [1]. Использование литых асфальтобетонных смесей (ЛАБС), обладающих высокой плотностью, повышенной водонепроницаемостью и способностью к самоуплотнению

является одним из перспективных направлений в дорожном строительстве. В настоящее время литые смеси широко применяются при устройстве покрытий для автомобильных дорог, мостовых сооружений, тоннелей и участков ремонта покрытий нежесткого типа.

Литые асфальтобетонные смеси характеризуются повышенным содержанием битумного вяжущего и минерального порошка в смеси, что способствует при укладке, за счет высокой температуры смеси, иметь высокую подвижность при распределении по поверхности основания. Принято считать, что при применении литых смесей, за счет их высокой подвижности, не требуется применения дорожных катков.

В соответствии с ГОСТ Р 54401-2020 литые смеси классифицируют, в зависимости от максимального размера минерального заполнителя на ЛА16, ЛА11, ЛА8 и ЛА4, где цифры обозначают размер минерального заполнителя. Выбор минерального заполнителя в литой смеси зависит от области ее применения. Для верхних слоев покрытия используют смеси ЛА16, ЛА11, ЛА8, поскольку зерновой состав позволяет устраивать слой толщиной, сопоставимый с толщиной верхнего слоя покрытия. Для устройства покрытия тротуаров, слоев гидроизоляции применяют смесь ЛА4.

К преимуществам применения литых смесей можно отнести:

- низкую остаточную пористости (0,5-2,0 %) слоя;
- повышенная трещиностойкость за счет повышенного содержания битума и минерального порошка, что обеспечивает эластичность и релаксационную способность материала при температурных колебаниях и транспортных нагрузках, тем самым снижая риск образования усталостных и низкотемпературных трещин по сравнению с традиционными плотными асфальтобетонами;
- высокая устойчивость к химическим реагентам и стойкостью к действию противогололедных реагентов, что важно для участков дорог с мостовыми сооружениями, а также для дорог в регионах с холодным климатом;
- применение в стеснённых условиях городской застройки из-за невозможности применения уплотняющих машин (колодцев, на мостовых переходах, в тоннелях).

К недостаткам применения литых смесей можно отнести:

- повышенное применение вяжущего материала
- повышенные энергетические затраты на приготовление смесей
- применение специального оборудования для транспортировки готовой смеси
- применение специальных асфальтоукладчиков
- увеличение стоимости строительства покрытий с применением литых смесей.

Особую актуальность литые смеси имеют при строительстве, ремонте и реконструкции мостовых сооружений с применением покрытий на металлических ортотропных плитах, так как применение стандартных уплотняющих машин из-за ограниченной несущей способности тонколистового настила затруднено или полностью исключено [2].

Нормативными документами определены требования по применению вяжущих материалов, по температуре приготовления смеси, а также по значению остаточной пористости [2,4,5]. Основные физико-механические характеристики литого асфальтобетона представлены в табл1.

Таблица 1

Основные физико-механические характеристики литого асфальтобетона [3]

Показатель	Значение
Водонасыщение	не более 1,0 %
Остаточная пористость	0,5-2,0 %
Прочность при сжатии при 20 °С	1,5-2,2 МПа
Прочность при сжатии при 50 °С	не менее 0,7 МПа
Температура укладки	200-220 °С

Одной из важнейших технологических особенностей литых смесей, в отличии от традиционных асфальтобетонов, является повышенный температурный режим как на стадии приготовления, так и при последующей укладке в конструктивный слой. Данная особенность связана с необходимостью обеспечения требуемой технологической подвижности смеси, которая обеспечивается за счёт снижения вязкости битумного вяжущего при высоких температурах нагрева, а также создания условий для полного обволакивания минеральных зёрен вязким материалом и равномерного его распределения по поверхности заполнителя. Приготовление ЛАБС осуществляется на асфальтобетонных заводах при температурах 220-250 °С, что значительно выше температур приготовления горячих асфальтобетонных смесей. В процессе приготовления литой меси осуществляется контроль двух параметров: однородности состава смеси (оценивается по распределению фракций каменного материала и содержанию битума) и температуры материала

на выходе из смесителя, а также при транспортировании к месту укладки. Отклонение от заданного температурного диапазона ведёт либо к преждевременному остыванию смеси (с потерей текучести и невозможностью самоуплотнения), либо к термодеструкции вяжущего (снижение долговечности покрытия) [3, 5].

Устройство покрытия с применением литой асфальтобетонной смеси требует тщательной подготовки основания, которая заключается в следующем [4]:

– основание подлежит тщательной очистке от любых загрязнений;

– поверхность основания должна быть абсолютно сухой, что контролируется визуально или с применением влагомеров, поскольку наличие влаги препятствует адгезии битумного вяжущего и может привести к паровым раковинам при укладке горячей смеси:

– контролируется требуемая ровность основания, отклонения под двухметровой рейкой не должны превышать значений, установленных проектом. Все неровности, выбоины и наплывы подлежат фрезерованию или заделке ремонтными составами;

По завершении подготовительных операций выполняется обработка поверхности основания одним из двух типов адгезионных материалов: либо битумной эмульсией (катионной или анионной, с концентрацией битума 40-60 %), либо специальным праймером (битумно-растворительным составом на основе органических растворителей с низкой вязкостью), который проникает в поверхностные поры основания и обеспечивает более прочное соединение с горячей литой смесью. Выполнение этого условия строго обязательно, поскольку литая смесь обладает высокой текучестью и при отсутствии подстилающей липкой плёнки может смещаться относительно основания при транспортных нагрузках, что ведёт к образованию сдвигов и волн; кроме того, битумная плёнка предотвращает локальное переохлаждение смеси в местах контакта с основанием [4].

Технология устройства дорожного покрытия с применением литых смесей представляет собой доставку смеси к месту производства работ с применением специальных самоходных или прицепных термосах-миксерах (кохлерах) с двойной стенкой и теплоизоляцией, оборудованных перемешивающим устройством для предотвращения расслоения и остывания смеси. В зависимости от вяжущего температура смеси при загрузке в миксеры на асфальтобетонном заводе находится в пределах 220-250°С, поэтому время транспортировки ограничено и при выгрузке смеси в бункер специального асфальтоукладчика обязательно контролируется.

При перемещении асфальтоукладчика литая смесь распределяется слоем заданной толщины без последующего уплотнения катками. За счет высокой текучести смесь самостоятельно растекается под действием силы тяжести и при воздействии выглаживающей плиты формируется ровная поверхность.

Для обеспечения требуемого коэффициента сцепления колеса автомобиля с покрытием на поверхность слоя с не остывшей литой смесью распределяют черный щебень (фракционированный каменный материал, обработанный битумом), который втапливают в уложенный слой смеси легкими катками. Уложенный слой, за счет высокой температуры вяжущего материала, обладает низкой несущей способностью и сдвигоустойчивостью, поэтому требуется время для снижения температуры до температуры окружающей среды. В этот период времени запрещается проезд транспорта и пешеходное движение. В отличие от традиционных асфальтобетонных смесей, уплотнение литого асфальтобетона практически не требуется. Смесь самостоятельно распределяется под действием собственного веса, формируя плотную структуру покрытия [5].

Применение литых смесей позволяет существенно увеличить межремонтные сроки эксплуатации автомобильных дорог за счет формирования практически беспористой структуры материала, остаточная пористость которой находится в пределах от 0,5 % до 2,0 %, что предотвращает капиллярное проникновение поверхностных и грунтовых вод в конструктивные слои дорожной одежды [5]. Отсутствие сообщающихся пор исключает накопление влаги в теле покрытия, что резко снижает риск возникновения температурных и усадочных трещин, а также минимизирует разрушение битумного вяжущего при многократных циклах замораживания-оттаивания [1]. В результате долговечность дорожной одежды возрастает в 1,5-2,0 раза по сравнению с традиционными пористыми и высокопористыми асфальтобетонами, что подтверждено данными натурных наблюдений на экспериментальных участках [5].

Несмотря на более высокую стоимость каменных материалов с повышенными требованиями к форме зерен, увеличенный расход битумного вяжущего (до 8-10 % массы смеси против 4-6 % в традиционных асфальтобетонах), а также необходимость применения специального технологического оборудования использование литых асфальтобетонных смесей может быть экономически оправданным. Экономический эффект достигается за счёт значительного увеличения фактического срока службы покрытия (межремонтные интервалы возрастают с 5-7 лет до 12-15 лет). Применение покрытия автомобильных дорог с использованием литых смесей позволяет уменьшить текущие затраты на 30-50 % за счет ямочного ремонта и герметизации трещин в процессе эксплуатации дорог, а также восстановление верхнего слоя при ремонте.

Кроме того, сокращаются косвенные расходы на организацию дорожного движения в периоды ремонтов и простои транспортных потоков [5].

Анализ представленных материалов показал, что литые асфальтобетонные смеси представляют собой современный высокотехнологичный композиционный материал, сочетающий повышенные физико-механические характеристики (высокую плотность, водонепроницаемость, трещиностойкость и сдвигоустойчивость) с технологическим преимуществом самоуплотнения, что позволяет обеспечивать высокое качество дорожных покрытий в сложных условиях и существенно повышать долговечность транспортных сооружений. Применение таких смесей позволяет снизить полные затраты на жизненный цикл дорожной одежды.

Для повышения эффективности применения литых смесей для устройства дорожных покрытий необходимо разработать технологию, позволяющую учитывать как конструктивные параметры покрытия (толщину слоя, свойства применяемых материалов), так и условия производства работ (продолжительность устройства покрытия, температура воздуха, температура смеси при распределении черного щебня, скорость ветра при производстве работ). устройства покрытия

Список использованных источников

1. Ушаков, В.В. Строительство автомобильных дорог : учебник / В.В. Ушаков, В.М. Ольховиков – М.: Издательский центр «КноРус», 2013. – 576 с.

2. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. – М., 2011.

3. ГОСТ Р 54401–2020. Смеси литые асфальтобетонные дорожные горячие и асфальтобетон литой дорожный. – М., 2020.

4. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. – М., 2012.

5. СТО НОСТРОЙ 2.25.39-2011. Устройство асфальтобетонных покрытий из литого асфальтобетона. – М., 2011.

УДК 692.232
67.09 Строительные материалы и изделия

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ШТУКАТУРНОЙ ОТДЕЛКИ ФАСАДОВ КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ МЕТОДОМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ

Майер Роман Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», аспирант кафедры «Архитектурно-строительное проектирование»
e-mail: maier@agiogk.ru

Шангина Нина Николаевна,
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Архитектурно-строительное проектирование»
e-mail: shangina@agiogk.ru

Харитонов Алексей Михайлович,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология строительных материалов и метрология»
e-mail: haritonov@agiogk.ru

Введение

Согласно аналитическим обзорам, на территории России доля зданий жилого и общественного назначения, ограждающие конструкции которых выполнены в виде кирпичной кладки, достигает 40% [2]. Среди вновь возводимых жилых домов около 25% строятся с применением кирпичной кладки [1]. Отделка фасадов большей части этих зданий выполнена с применением штукатурных растворов [4]. В связи с этим ежегодный объем работ по устройству и капитальному ремонту штукатурных фасадов остается значителен и имеет тенденцию к росту [7], что обусловливает высокую актуальность повышения эффективности систем отделки.

Штукатурная отделка сочетает декоративную функцию с защитой кладки, как от внешних, так и от внутренних деструктивных факторов, а также влияет на термическое сопротивление ограждающей конструкции [3]. Поскольку штукатурные слои рассматриваются как «жертвенные» (подлежащие периодическому обновлению) [6], вопрос увеличения эксплуатационного ресурса самой отделки также вызывает значительный научно-практический интерес. В связи с этим эффективность системы фасадных отделочных материалов оценивается на основе комплекса критериев, характеризуемых множеством соответствующих показателей. Указанные критерии и показатели должны отражать особенности фасада, вид и текущее состояние ограждающей конструкции, условия эксплуатации.

В настоящее время отсутствует научно обоснованный подход к формированию системы материалов отделки, основанный на комплексном учете критериев, определяющих эффективность отделки для заданных условий применений. Фактически выбор материалов осуществляется субъективно, при этом оцениваются показатели свойств материалов без учета особенностей основания и взаимодействия в системе при послойном нанесении составов.

Цель данной работы – сформулировать принципы проектирования штукатурной отделки фасадов кирпичных зданий на основе инженерного анализа эффективности систем отделочных материалов, учитывающего условия работы покрытия, сочетания составов друг с другом и основанием.

Инженерный анализ эффективности систем отделки

Инженерный анализ – это достаточно широкое понятие, которое включает весь комплекс необходимых вычислений для получения информации о технических характеристиках материалов [4].

Метод обратного инжиниринга (reversed engineering) может быть использован как инструмент анализа действующих штукатурных систем фасадов кирпичных зданий с целью оценки их эффективности, выявления слабых зон и последующей разработки адаптивных материалов и конструкций. В отличие от прямого проектирования, при котором система создаётся «с нуля», обратный инжиниринг начинается с анализа реального фасада, его повреждений и условий эксплуатации, а затем на основе этих данных формируется модель и алгоритм проектирования.

В контексте фасадной штукатурки под обратным инжинирингом понимается следующий последовательный путь:

- фиксирование и документирование имеющегося фасада (типа штукатурной системы, её толщины, состава, конструкции примыканий, дефектов и т.п.);
- проведение инструментального обследования (визуальный контроль, 3D-сканирование, геометрические замеры, неразрушающий контроль, отбор проб и их лабораторный анализ);
- восстановление структурно-функциональной модели системы:
  - структура слоёв,
  - поровое пространство и водопроницаемость,
  - деформативные и прочностные характеристики,
  - режим влажности и температуры поверхности;
- сопоставление наблюдаемого поведения системы с расчётными и эксплуатационными режимами;
- формулирование критериев эффективности и границ применимости данной системы, а затем разработка улучшенного варианта или адаптивной конструкции.

Но данный метод также может быть использован не только для анализа уже существующих фасадов, но и на стадии проектирования, как инструмент обоснованного выбора штукатурной системы с учётом конкретных климатических условий региона и режима эксплуатации. В таком случае суть метода смещается от диагностики к прогностическому конструированию. На основе данных об эксплуатации аналогичных объектов в сопоставимых климатических условиях формулируют требования к свойствам новой штукатурной системы, а затем применяют её как адаптивную.

На этапе проектирования климатические условия задают как системные ограничивающие факторы:

- температурный диапазон и продолжительность холодного периода;
- интенсивность дождевого и снегового увлажнения, ветровой режим;
- влажностный и температурный градиенты на фасадах различных ориентаций;

Метод обратного инжиниринга включает следующие шаги:

1. Анализ действующих фасадов в сопоставимых климатических условиях, где уже реализованы различные типы штукатурных систем по кирпичным стенам.
2. Сопоставление успешных и неудачных систем с характеристиками климата (холодный/умеренный/жаркий, влажный/сухой и т.п.).
3. Установление закономерностей «климат → поведение штукатурной системы» и использование их как критериев подбора и доработки новой системы.

В результате проектировщик получает обратно обоснованный алгоритм, а вместо эмпирической выборки используются модели, проверенные на практике в аналогичных условиях.

В рамках данного метода предлагаются следующие этапы его реализации:

1. Определение целевой климатической зоны и требований.
   - климатического района и подрайона (по СП 131.13330.2025),
   - типа здания, и установление эксплуатационных нагрузок, не связанных с климатом,
   - требуемых показателей эксплуатационного ресурса, ремонтопригодности и экологичности штукатурной отделки,
   - правовых актов, влияющих на формирование отделки и организацию работ (при необходимости).

Данная информация становится рамкой отбора объектов-прототипов для обратного инжиниринга.

2. Формирование базы прототипов в сопоставимых условиях.
   - кирпичные здания с различными типами штукатурных систем (с выравниванием под окраску, штукатурной теплоизоляцией, декоративным штукатурным покрытием и др.)
   - объекты с сопоставимым характером эксплуатации здания.

Для каждого объекта собирают следующие данные:
- тип финишного покрытия,
- характер и степень деградации покрытия,
- фактический срок эксплуатации,
- конструктивное решение штукатурного слоя.

На данном этапе отбираются наиболее удачные решения отделочной системы

3. Обратный инжиниринг и анализ поведения системы в условиях климата.

Для выбранных прототипов применяют метод обратного инжиниринга:
- 3D-сканирование и фотограмметрию поверхности, для количественной оценки степени деградации покрытия,
- неразрушающий и разрушающий контроль, для оценки механических характеристик,
- лабораторный анализ состава, прочностных и гидродинамических свойств штукатурки и, при необходимости, кирпичной кладки.

После чего, строятся модели тепло- и влагопереноса, а также механические модели (МКЭ), связывающие климатические нагрузки с напряжённо-деформационным и влажностным состоянием системы.

В итоге формируется связка «тип штукатурной системы – климатические условия – показатели эффективности и долговечности», которая позволяет выявить, какие типы систем лучше адаптированы к заданным условиям.

4. Формирование критериев и рекомендаций для проектирования.

На основе полученных закономерностей формулируют критерии выбора и подбора штукатурной системы под конкретный климат:
- минимально допустимый уровень паропроницаемости,
- допустимый уровень жёсткости и прочности,
- рекомендуемая толщина и структура слоёв,
- тип финишного покрытия и конструкции примыканий.

Указанные критерии можно использовать как входные параметры метода проектирования адаптивной фасадной отделки, что позволяет исключить неприемлемые варианты и оптимизировать состав и структуру системы материалов, удовлетворяющей конкретным климатическим и эксплуатационным условиям.

Для каждых конкретных условий создается матрица параметр/воздействие, что позволяет направленно формировать требуемый эксплуатационный ресурс отделки. К примеру, в условиях миграции влаги через ограждающую конструкцию особую значимость имеют системы с высокой паропроницаемостью и низким водопоглощением. Для промышленных объектов, во многих случаях, на первый план выходят прочностные характеристики штукатурного слоя.

Для решения подобных задач проектирования, и объективного ответа на вопрос, какая система эффективнее в конкретных условиях, предлагается матричная форма оценки технических характеристик систем фасадной отделки (таблица 1). Таблица сформирована так, чтобы интегральная оценка параметров, для каждого вида условий имела оценку в пределах 10 (десяти).

Каждому условию эксплуатации (столбец) отведено 10 «баллов значимости» (сумма баллов = 10), распределённых между характеристиками.

0-1 балл – параметр второстепенный; 2-3 – средняя значимость; 4 и более – ключевой или критический параметр в данных условиях.

Таким образом, благодаря такой таблице проектировщик может установить критерии, какие параметры контролировать в первую очередь для конкретного климата/зоны фасада.

В качестве примера, для инженерной оценки выделено несколько типовых условий эксплуатации зданий и определены воздействия, действующие в таких климатических условиях, а также основные виды разрушений штукатурных покрытий, встречающихся в данных условиях:

– Холодный сухой, ветренный климат (длительный морозный период и повышенная ветровая нагрузка). Для таких районов характерна деградация системы, вследствие замораживания-оттаивания водонасыщенных слоев, а также температурно-влажностных деформаций материалов в условиях косых дождей и налипания снега. Исходя из этого, к штукатурной отделке должны предъявляться особые требования по морозостойкости и трещиностойкости.

– Холодный влажный климат (частые дожди и снегопады). В данном типе климата характерно водонасыщенное состояние штукатурной системы, вследствие чего происходит снижение адгезии контактной зоны при замораживании-оттаивании, вымывание водорастворимых компонентов и развитие биопоражений. Поэтому критически важными являются водостойкость, паропроницаемость и стойкость к поверхностной эрозии.

– Резко континентальный климат (большие годовые и суточные амплитуды температур, мало осадков). Для штукатурки здесь особенно важна согласованность термического расширения с кирпичным основанием, так как основные деформации в таком климате связаны с усталостным накоплением повреждений от циклов нагрев – охлаждение, проявляющиеся в образовании микротрещин, и отслаивании штукатурного слоя.

– Жаркий сухой климат (длительный жаркий солнечный период, дефицит влаги). В таких условиях основные дефекты покрытий – усадочные трещины, развивающиеся вследствие дегидратации раствора. Помимо этого, особую значимость имеет сохранение декоративных свойств при интенсивном воздействии ультрафиолета, что может стать определяющим фактором при выборе вида финишного покрытия.

– Зона цоколя (комплексное влияние воздействий). Штукатурная отделка цокольной части зданий всегда подвержена повышенному износу вследствие интенсивного увлажнения грунтовыми и атмосферными водами в условиях замораживания-оттаивания, снеговых заносов, налипания грязи, пыли, развития биопоражений, повышенных механических воздействий. Поэтому для цокольной части требуется повышенная прочность отделки для восприятия внешних механических нагрузок, а также немаловажную роль имеет паропроницаемость, необходимая для выхода влаги из кладки, увлажняемой из-за недостаточной герметичности наружной гидроизоляции подземной части стен.

Таблица 1

Зависимость «значимости» параметра от условий эксплуатации.

Условия / Параметр	Холодный сухой	Холодный влажный	Резко континентальный	Жаркий сухой	Зона цоколя
Прочность при сжатии	0	0	0	0	3
Морозостойкость	3	3	3	0	2
Трещиностойкость	3	1	1	6	0
Адгезия	1	1	3	2	0
Поверхностное водопоглощение	2	3	1	1	2
Паропроницаемость	1	2	2	1	3

После проведения анализа «значимости» технической характеристики для рассматриваемых климатических условий делается вывод о планируемых функциональных свойствах проектируемой штукатурной системы и свойствах, которые, при необходимости, требуют улучшения.

Для иллюстрации данного метода использованы три системы материалов отделки фасадов, опыт применения которых на практике превышает 10 лет: Система 1 (КК+КН), Система 2 (ОК+ОН), Система 3 (ЦИ+ЦИФ).

Принятые условные обозначения:

КК – смесь сухая штукатурная, крупнозернистая, известковая «Рунит Классическая крупная»;

КН – смесь сухая штукатурная накрывочная, мелкозернистая, известковая «Рунит Классическая накрывочная (финишная)»;

ОК – смесь сухая штукатурная, крупнозернистая, известковая, с пуццолановой добавкой «Рунит Оригинальная крупная»;

ОН – смесь сухая штукатурная накрывочная, известковая, с пуццолановой добавкой «Рунит Оригинальная накрывочная (финишная)»;

ЦИ – смесь сухая штукатурная, крупнозернистая, цементно-известковая «Рунит Цементно-известковая»;

ЦИФ – смесь сухая штукатурная, мелкозернистая, цементно-известковая «Рунит Финишная»;

Каждая из рассматриваемых систем имеет окрасочное покрытие выполненное из силикатной грунтовки (Рунит Силикат-грунт) разведенной 1:1 с водой, и двух слоев силикатной краски (Рунит Силикатная краска), в составе которой содержится гидрофобизатор.

В таблице 2 представлены технические характеристики рассматриваемых систем:

Таблица 2

Технические характеристики штукатурных систем.

Система / Параметр	Система 1 КК+КН	Система 2 ОК+ОН	Система 3 ЦИ+ЦИФ
Прочность при сжатии, МПа	1,2	3,0	7,8
Морозостойкость, F	-	-	75
Трещиностойкость, мм/м	0,0	0,1	0,15
Адгезия, МПа	0,15	0,25	0,35
Поверхностное водопоглощение, (мл*10-3 / см²·мин)	0,03	0,02	0,02
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,131	0,120	0,115

Для приведения различных показателей к обобщенному критерию использована бальная система оценки технических характеристик. Балльная система принята следующим образом: 0 баллов – значение параметра невозможно определить или оно близко к нулю; 1 балл – параметр соответствует нижнему уровню диапазона значений, установленных на данный вид материалов; 2 балла – параметр соответствует среднему уровню значений; 3 балла – параметр соответствует верхнему уровню значений свойств и выше. Бальная оценка технических свойств рассматриваемых материалов представлена в таблице 3.

Таблица 3

Балльная оценка технических характеристик штукатурных систем.

Система / Параметр	Система 1 КК+КН	Система 2 ОК+ОН	Система 3 ЦИ+ЦИФ
Прочность при сжатии	1	2	3
Морозостойкость	0	0	3
Трещиностойкость	3	2	2
Адгезия	1	2	3
Поверхностное водопоглощение	2	3	3
Паропроницаемость	3	2	1

Определение системы, которая в наибольшей степени соответствует заданным условиям применения, осуществляется вычислением единого (интегрального) показателя эффективности, расчет которого производится путем перемножения балла оценки каждой технической характеристики (таблица 3) на её «коэффициент значимости» (таблица 1). Полученные единые показатели эффективности систем для различных условий эксплуатации представлены в таблицах 4-8.

Таблица 4

Интегральный показатель качества штукатурных систем для холодного сухого климата

Система / Параметр	Система 1 КК+КН	Система 2 ОК+ОН	Система 3 ЦИ+ЦИФ
Прочность при сжатии	0	0	0
Морозостойкость	0	0	9
Трещиностойкость	9	6	6
Адгезия	1	2	3
Поверхностное водопоглощение	4	6	6
Паропроницаемость	3	2	1
Сумма баллов	**17**	**16**	**25**

Таблица 5

Интегральный показатель качества штукатурных систем для холодного влажного климата

Система / Параметр	Система 1 КК+КН	Система 2 ОК+ОН	Система 3 ЦИ+ЦИФ
Прочность при сжатии	0	0	0
Морозостойкость	0	0	9
Трещиностойкость	3	2	2
Адгезия	1	2	3
Поверхностное водопоглощение	6	9	9
Паропроницаемость	6	4	2
Сумма баллов	**16**	**17**	**25**

Таблица 6

Интегральный показатель качества штукатурных систем для резко континентального климата

Система / Параметр	Система 1 КК+КН	Система 2 ОК+ОН	Система 3 ЦИ+ЦИФ
Прочность при сжатии	0	0	0
Морозостойкость	0	0	9
Трещиностойкость	3	2	2
Адгезия	3	6	9
Поверхностное водопоглощение	2	3	3
Паропроницаемость	6	4	2
Сумма баллов	**14**	**15**	**25**

Таблица 7

Интегральный показатель качества штукатурных систем для жаркого сухого климата

Система / Параметр	Система 1 КК+КН	Система 2 ОК+ОН	Система 3 ЦИ+ЦИФ
Прочность при сжатии	0	0	0
Морозостойкость	0	0	0
Трещиностойкость	18	12	12
Адгезия	2	4	6
Поверхностное водопоглощение	2	3	3
Паропроницаемость	3	2	1
Сумма баллов	**25**	**21**	**22**

Таблица 8

Интегральный показатель качества штукатурных систем для зоны цоколя

Система / Параметр	Система 1 КК+КН	Система 2 ОК+ОН	Система 3 ЦИ+ЦИФ
Прочность при сжатии	3	6	9
Морозостойкость	0	0	6
Трещиностойкость	0	0	0
Адгезия	0	0	0
Поверхностное водопоглощение	4	6	6
Паропроницаемость	9	6	2
Сумма баллов	**16**	**18**	**23**

На основании проведенной оценки качества штукатурных систем можно сделать вывод о том, что для всех рассматриваемых зон, для которых предъявляются требования по морозостойкости, а именно холодного сухого климата, холодного влажного климата, резко континентального климата, а также зоны цоколя, для отделки кирпичных зданий в таких климатических условиях стоит рассмотреть систему 3 (ЦИ+ЦИФ).

Цементно-известковая система имеет предсказуемые параметры по морозостойкости в отличие от систем 1 и 2, для которых такой показатель как «морозостойкость» – не определяется.

Для жаркого сухого климата наиболее предпочтительной оказалась система 1 (КК+КН), ввиду

большей значимости трещиностойкости.

Представленные матрицы носят иллюстративный характер и служат примером использования данного метода, и подхода к анализу. Применение данного метода носит многофакторный характер, и при его внедрении в проектирование, должны учитываться не только климатические условия региона, но и фактическое расположение здания (в низине с высоким уровнем грунтовых вод / у водоема / на возвышенности / в плотной городской застройке и т.п.), эксплуатационный характер здания (промышленное / гражданское жилое / гражданское не жилое и т.п.), характер основания (марку кирпича, раствора / разнородное основание / существующий штукатурный слой и т.п.), также возможен учет зоны выполнения штукатурных работ на плоскости фасада, отдельно может рассматриваться не только цокольная зона, но и сплошная поверхность фасада, зона венчающего карниза, технического этажа, или другая зона, которая может отличаться эксплуатационными нагрузками от других зон фасада. Также в некоторых случаях может иметь значение конструктивное решение здания или локальные правовые акты. Кроме того, всегда имеют значение финансовые затраты на материалы и выполнение работ, что также может учитываться в данном методе

Заключение

Такой подход является многокритериальной моделью выбора штукатурной системы, которая учитывает климат, влажностный режим и конструктивную зону фасада и позволяет обосновать выбор решения не только качественно, но и количественно.

Инженерный подход к проектированию штукатурных фасадных систем позволяет существенно повысить их надежность и долговечность. Ключевым фактором является не выбор отдельного материала, а формирование согласованной системы, учитывающей физико-механические свойства, условия эксплуатации и взаимодействие с кирпичным основанием.

Сформулированные принципы могут служить основой для разработки нормативных требований и практических рекомендаций при проектировании фасадной отделки.

Список использованных источников

1. Аналитический обзор. Строительство жилья профессиональными застройщиками в Российской Федерации на ноябрь 2025 г. : аналит. обзор [Электронный ресурс] / ООО «Институт развития строительной отрасли». – Москва. – 2025. – 89 с. – Режим доступа: https://erzrf.ru/images/repfle/28647442001REPFLE.pdf.
2. Генцлер И. В. Состояние жилищного фонда Российской Федерации : доклад на конференции «Города для жизни» / Фонд «Институт экономики города». – Москва : Фонд «Институт экономики города». – 2025. – 25 с.
3. Малявина Е.Г. Теплопотери здания: справочное пособие. – Москва. – 2007. – 265 с.
4. Медяник Ю.В. Классификация и анализ дефектов и повреждений штукатурных покрытий фасадов зданий // Известия КГАСУ. – 2018. – №2(44). – С. 231-238.
5. Пустов Л.Ю. Обзор современных методик сравнения конкурирующих систем при разработке новых продуктов [Электронный ресурс] // Методология. – 2009. – № 19. – Режим доступа: https://metodolog.ru/00919/00919.html.
6. Распопова, К. И. Современные материалы и технологии отделки фасадов при реконструкции жилого фонда // Молодой ученый. – 2021. – № 34 (376). – С. 26-29.
7. Щеглов А.В. Инерция благополучия: рынок фасадных систем демонстрирует остаточный рост // Стройгазета. – 2022. – № 29. – Режим доступа: https://stroygaz.ru/publication/materials/inertsiya-blagopoluchiya-rynok-fasadnykh-sistem-demonstriruet-ostatochnyy-rost/.

УДК 692.232
67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение

КОНЦЕНТРАЦИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРУКТУРЕ КОНГЛОМЕРАТНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Макеев Алексей Иванович,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»
e-mail: amakeev@cchgeu.ru

Базовым положением предложенной академиком РААСН Е.М. Чернышовым теории конструирования и синтеза оптимальных структур конгломератных строительных композитов (бетонов) является учет механики проявления их свойств в процессе эксплуатации [1]. В данной работе обсуждается явление концентрации внутренних напряжений, которое со второй половины прошлого века признается важнейшим в формировании прочности бетона [2-8], однако так и не нашло отражения ни в методиках расчета и проектирования бетонных и железобетонных конструкций, ни в технологии их производства. Получение научного знания о закономерностях формирования концентрации напряжений является актуальной проблемой современного бетоноведения, проблемой управления сопротивлением строительных композитов разрушению.

Согласно представлениям Е.М. Чернышова [9], при силовом механическом нагружении структурно-неоднородного твердого тела (пространственной протяженности с массой покоя) в нем формируется неоднородное поле (пространственная протяженность без массы покоя) внутренних напряжений как результат их локализации, концентрации и увеличения. Формирование такого поля от приложения нагрузки включает начальную стадию, когда силовое воздействие на тело распространяется в нем, в его объеме. Именно на этой стадии включаются в работу концентраторы напряжения, определяющие появление мест локализации и мест роста напряжения по сравнению с осредненным (на все сечение) его значением. Следующая стадия наступает, когда процесс приложения силового нагружения завершается и величина достигнутого напряженного состояния тела устанавливается на определенном уровне. Эта стадия характеризуется относительно определенными параметрами поля напряжения в материале - мест локализации, меры концентрации и местного усиления напряжения в нем (поле). Такая относительная условная определенность значений параметров выражается в вероятностной, статистической переменчивости меры концентрации и усиления напряжений в любом конкретном объеме их локализации. Представляя с учетом сказанного формирование и существование поля, образно можно опереться на подобие его картине волнения водной поверхности или нивы зернового поля. Представляя же формирование и существование отдельного локального напряжения в этом поле, можно обратиться к аналогии с картиной течения потока жидкости при обтекании этим потоком помещенного в него предмета, когда наблюдается увеличение скорости движения жидкости.

Не без оснований аналогом этого предмета можно считать несовершенство, дефект, неоднородность строения. Если иметь ввиду возможность различия скорости обтекания с разных сторон помещенного в поток жидкости ассиметричного предмета, то можно представить появление неравновесности состояния предмета в потоке как причины (силы) его смещения в потоке. Возможность такого смещения в потоке жидкости является аналогом возможности появления причины деформирования твердого тела под влиянием концентраторов напряжений. Вполне уместно здесь обратиться к механизму появления и действия подъемной силы при обтекании потоком воздуха крыла самолета.

Можно привести и другие аналогии, позволяющие дать образную картину образования и «жизни» поля напряжений в структурированном твердом теле.

К сказанному дополнительно отметим, что «жизнь» поля включает и третью стадию (вернее третью составляющую), связанную с нарушением его относительной (условно принимаемой) определенности по причине проявления актов разрушения. В результате этого изменяются параметры баланса равновесии и поле должно обрести и обретает новое равновесие. Но уже с другими его параметрами. И аналог в виде волнения водной поверхности, зернового поля будет иметь уже другое наблюдаемое воплощение.

Представленное рассмотрение механизма упрощает его. В действительности, при любой величине внешней нагрузки эти стадии, имея последовательную реализацию в отдельном объеме структурированного тела, одновременно оказываются параллельно развивающимися в разных (соседних) его объемах и в целом в теле. И это определяется прежде всего строением материала, потенциалом сопротивления его структурных связей силовым воздействиям.

В материале всегда есть процесс предразрушения, который может остановиться на определенном

уровне накопления повреждений соответственно величине внешней нагрузки и установившегося поля напряжений. Такая картина будет отвечать условию равновесного состояния материала в конструкции, находящейся под действием внешней нагрузки, при которой в материале процесс предразрушения стабилизировался, завершился. Эта ситуация будет сохраняться до тех пор, пока либо не повысится внешняя нагрузка, либо не изменится под влиянием других (кроме механической нагрузки) факторов эксплуатационной среды состояние материала - температурное, влажностное, вещественное. Специально отметим, что определенное, а в зависимости от особенностей структуры материала и весьма немалая роль изменений в структуре может быть связана с развитием самопроизвольных (условно без действия внешних факторов среды) процессов, процессов самоорганизации структуры. Изменение состояния материала окажется причиной нарушения равновесия в системе «материал - конструкция - среда» и соответствующего изменения параметров поля напряжений в материале.

Совершенно ясно, что интенсивность и мера такого изменения будет предопределяться параметрами изменения среды, а с другой стороны, мерой реакции отклика структуры материала на эти воздействия среды. В итоге же все будет сводиться к характеру и характеристикам локализации, концентрации и усиления напряжений в материале, то есть к процессу формирования и параметрам поля напряжений как функции несовершенности, дефектов, а обобщенно - неоднородности структуры.

В контексте рассмотрения целостной структуры бетона как совокупности трех типов подструктур [10], соотносимого с классическими представлениями о макроструктуре, микроструктуре и внутреннем строении материала, сказанное имеет отношение к подструктуре первого типа – собственно конгломератному композиту, «размещенному» на макро-, мезо- и микромасштабных уровнях пространства композита. Сформировавшееся на этих уровнях локализация, концентрация и усиление напряжений через подструктуру второго типа (микроконструкции) передается на материал элементов микроконструкции – подструктуру третьего типа (монофазное твердое тело), располагающуюся на наномасштабном и атомно-молекулярном уровне строения. На самом деле именно кристаллохимические связи этой подструктуры обеспечивают целостность композита и играют решающую роль в формировании его прочностного потенциала, проявляющегося как функция суммирования сил отдельных структурных связей. Реализация прочностного потенциала и прочность композита в целом напрямую зависит от количества вовлекаемых в работу сопротивления разрушению структурных связей. Вследствие неоднородной картины поля напряжений в макрообъеме конструкции в работе сопротивлению разрушению оказываются задействованными только те связи, которые попали в локализованные микрообъемы повышенных напряжений, а остальные оказываются «невостребованными».

Возникает ситуация «недоиспользования» прочностного потенциала материала. Чтобы охарактеризовать значение этого, представим себе, что созданы условия для максимального вовлечения всех связей в сопротивление нагрузке. В этом случае реальная (техническая) прочность материала приблизится к его теоретической прочности. Становится очевидным, что эффективность сопротивления разрушению строительного композита и соответственно, строительной конструкции, может быть повышена за счет максимально возможного вовлечения его структурных связей в работу при том же их потенциале.

При этом проблема использования силового потенциала структурных связей не исчерпывается только вопросами повышения эффективности технологии композитов. Обратим внимание также на то, что вариативность вовлечения силовых связей в расчетах железобетонных конструкций служит непосредственной причиной завышенных коэффициентов запаса по материалу по сравнению, например, с металлическими конструкциями. Создание условий для наиболее полного вовлечения структурных связей в работу сопротивления композита разрушению обеспечит возможность пересмотра проектных коэффициентов запаса по материалу, развитию новых подходов к их снижению без потери надежности конструкции.

Отсюда следует, что алгоритм, принципы конструирования композитов должны опираться на управление параметрами поля напряжений, конкретно – в направлении снижения концентрации напряжений как фактора сокращения числа одновременно «перегруженных» и «недогруженных» силовых структурных связей в процессе механического нагружения композита.

В системе «материал – конструкция – среда» параметры поля напряжений формируются под влиянием «факторов среды», «факторов конструкции» и «факторов структуры материала». Целью данной работы является рассмотрение влияния структурных факторов на локализацию и концентрацию напряжений в конгломератных строительных композитах (бетонах).

Действенное управление любым объектом, процессом или явлением предполагает их идентификацию, формализацию и моделирование. В полной мере это относится и к управлению полем напряжений (концентрацией напряжений).

Термин «концентрация напряжений», означающий явление местного превышения напряжений над осредненными по рабочему сечению, был предложен Инглисом в 1913 году. Представления об этом эффекте, развитые для инженерных расчетов прочности деталей и механизмов, были впоследствии перене-

сены и на вопросы разрушения материала (А.А. Гриффитс, 1920 год). С течением времени в материаловедении закрепились термины «внутренние напряжения» и «концентрация внутренних напряжений».

Согласно «классическим» материаловедческим представлениям, причиной концентрации напряжений в структуре квазиоднородного (микрогетерогенного) материала служит увеличение плотности траекторий напряжений вблизи границы раздела «твердая фаза материала» – «газовая фаза дефектов» (трещин, каверн, пор и т.д.) [11]. Природа концентрации напряжений в конгломератном композиционном материале, помимо дефектности, обусловлена также и резким изменением (скачком) деформационных характеристик при переходе границы раздела «матрица – твердофазное включение». В соответствие с законом Гука и принципом непрерывности деформаций в объемах матрицы и включений при нагружении возникают разные по величине внутренние напряжения, а их эпюры имеют криволинейный вид, характеризующийся повышенными значениями напряжений на межкомпонентной границе раздела [12].

В силу сплошности, неразрывности твердой фазы повышение напряжений не ограничивается точкой (поверхностью) непосредственного контакта компонентов (границей их раздела), а распространяется на некоторую прилегающую к этой границе область, постепенно снижаясь по мере фронтального отдаления от границы и формируя зону локализации повышенных напряжений.

Таким образом, неравномерное поле внутренних напряжений в конгломератных композитах обусловлено скачком деформативности структурных компонентов и его изменчивостью. Этот эффект усиливается полиструктурностью этих материалов, приводящей к поуровневому усилению напряжений от действия концентраторов напряжений каждого уровня.

Количественной мерой концентрации напряжений принимается локальное максимальное напряжение, которое является функцией тензора напряжений в наиболее напряженной точке тела $\sigma_{loc.max} = f(\sigma_{ij})$. Задача о концентрации напряжений у вершины эллиптического отверстия впервые была решена Г.В. Колосовым в 1907 году. С тех пор проведено множество аналитических вычислений $\sigma_{loc.max}$ в зависимости от вида, размеров отверстий, вида напряженного состояния и упругих характеристик материала, в основном, методом конечных элементов в рамках механики деформируемого твердого тела. Однако аналитических выражений для расчета величины $\sigma_{loc.max}$ на границе твердофазного включения в конгломератных композитах пока не найдено, поскольку допущения о сплошности, однородности и изотропности тела в данном случае не выполняются.

Для экспериментальной оценки $\sigma_{loc.max}$ в керамиках и металлах с вырезами и отверстиями, по данным [13], применяются многочисленные методы: оптические и ультразвуковые, дифракции рентгеновских лучей и нейтронов, магнитный, рамановской спектроскопии, механо-люменесценции, регистрации теплового излучения при поглощении исследуемым объектом ультразвуковых колебаний, а также методы, основанные на использовании голографической и спекл-интерферометрии, лазерной фотоакустики. Однако для решения задач регистрации внутренних напряжений в конгломератных композитах (бетонах) из перечисленных методов известно только применение методов рентгеновской компьютерной томографии [14] и лазерной голографической интерферометрии [15], при этом последний способ пока используется для определения величины и распределения векторов поля перемещений в области отверстий и вырезов [16], а не твердофазных включений.

Для приближенных формализаций $\sigma_{loc.max}$ выражается через коэффициент концентрации напряжений K_σ:

$$\sigma_{loc.max} = K_\sigma \cdot \sigma_0, \qquad (1)$$

где σ_0 - величина среднего макроскопического напряжения в материале в данных условиях нагружения (функция фактора среды и фактора конструкции), вычисляемая согласно положениям строительной механики.

В соответствие с решением Колосова [17] в пластине с эллипсоидальным вырезом

$$K_\sigma = 1+2(a/b), \qquad (2)$$

где a и b – длина и ширина полуосей эллипса.

В телах с трещинами (эллипс с незначащей шириной) K_σ становится настолько большим, что теряет смысл, поэтому в механике разрушения напряженно-деформированное состояние и смещения вблизи вершины трещины определяется коэффициентом не концентрации K_σ, а интенсивности напряжений K_I, критическое значение которого K_{Ic} и принимается за прочностную константу материала в расчетах строительных конструкций методами механики разрушения. В соответствии с современными представлениями о композите как структурированном твердом теле, обладающем изначальной, присущей ему дефектностью, малые дефекты, размеры которых сопоставимы с размерами структурных составляющих композита, не оказывают влияния на его прочность, до тех пор, пока их размеры не достигнут критического значения.

Заметим, что «генезисом», своим появлением в конструкциях трещиноподобные дефекты обязаны именно концентрации напряжений на технологических этапах изготовления конструкций и их приработки как следствии неравновесности их напряженно-деформированного состояния. Использование в расчетах наряду с K_{Ic} показателя K_σ как прочностной константы материала на этапе его предразрушения, на наш взгляд, может повысить точность расчетов.

Критический коэффициент интенсивности напряжений K_{Ic} есть функция модуля упругости, коэффициента Пуассона и поверхностной энергии материала [17], а от чего зависит коэффициент концентрации напряжений K_σ? Поскольку само явление концентрации напряжений обусловлено различиями деформационных характеристик компонентов, соответственно, главное влияние на величину K_σ будет оказывать фактор соотношения упругих свойств матрицы и включений $E_в/E_м$. Изучению этой зависимости в бетонах уделяли внимание И.Н. Ахвердов, Ю.М. Баженов, А.Е. Десов, Ю.В. Зайцев, С.М. Ицкович, И.А. Иванов, Н.И. Макридин, П. Строевен и др. Результаты модельных исследований И.Н. Ахвердова [18] показывают, что коэффициент концентрации напряжений линейно возрастает при увеличении $E_в/E_м$. По данным Б. В. Гусева [19], при изменении соотношения модулей упругости включения и матрицы $E_в/E_м$ от 0,9 до 0,5 K_σ увеличивается более чем в 2 раза. По мнению И.А. Иванова, оптимальным является соотношение $E_в/E_м$ = 0,3-0,7 [20].

В работах Д. Броека, Ю.В. Зайцева, Г.П. Черепанова, Ю.Н. Работнова и др. показано, что помимо различия прочностных и деформативных характеристик компонентов, величина K_σ зависит от формы включения и его размера. По данным [20], для гладких округлых включений K_σ = 4…5, а для остроугольных K_σ = 10. Неравномерный характер распределения напряжений вблизи частицы включения в первую очередь может определяться неправильностью ее формы, различием «остроты» ребер и вершин.

Относительно размера включений существует мнение, что он не оказывает влияния на коэффициент концентрации напряжений [21], что экспериментально доказано в работе [18]. По нашему мнению, размеры включений, их объемное содержание и взаиморасположение становятся определяющими не для «единичного акта» концентрации напряжений, а для общей картины поля напряжений в макрообъеме композита в связи с его характеристическими размерами (фактор конструкции) или в микрообъемах в связи с расстояниями между включениями соответствующего масштабного уровня. Это связано с условиями диссипации энергии механического нагружения и рассмотрено нами в [22].

Помимо перечисленных факторов, мы считаем, что коэффициент концентрации напряжений на вершине включения вытянутой формы зависит и от его ориентации относительно направления действия главных напряжений в объеме композита. С учетом рассмотренного, величину коэффициента концентрации внутренних напряжений на индивидуальном твердофазном включении в композите можно связать со следующими структурными параметрами:

$$K_\sigma = f\left(\frac{E_в}{E_м}; \frac{l_{max}}{l_{min}}; K_y; \cos\beta\right), \qquad (3)$$

где $E_в$ и $E_м$ - модуль упругости включения и матрицы соответственно; l_{max} и l_{min} – габаритные размеры включения; K_y – коэффициент угловатости формы включения; β - угол между осью включения l_{max} и направлением главных напряжений σ_0.

Условием формализации явления концентрации напряжений для его учета и управления является раскрытие общефункционального соотношения (3). Путем натурных экспериментов этого добиться невозможно в связи с повышенной сложностью строения реальных конгломератных композитов как структурно-неоднородных, многофазных, многокомпонентных, полидисперсных, дефектных систем. Для этого необходимы модельные эксперименты [18, 23-25]. Нами получены иконические, графические модели концентрации и локализации напряжений (рис. 1), но они обеспечивают качественную, понятийную картину, не позволяющую перейти к аналитическим оценкам и соотношениям. Значительные перспективы имеет компьютерное моделирование [15, 16, 26], однако такое моделирование сегодня ограничено, как раз, отсутствием формализаций моделируемого объекта.

На данном этапе развития знаний по управлению концентрацией напряжений и эффективностью использования прочностного потенциала структурных связей композита актуальным становится изучение изолированных, отдельных факторов на физических моделях композита. Это утверждение и определяет направление дальнейших разработок по обозначенной в данной публикации проблеме.

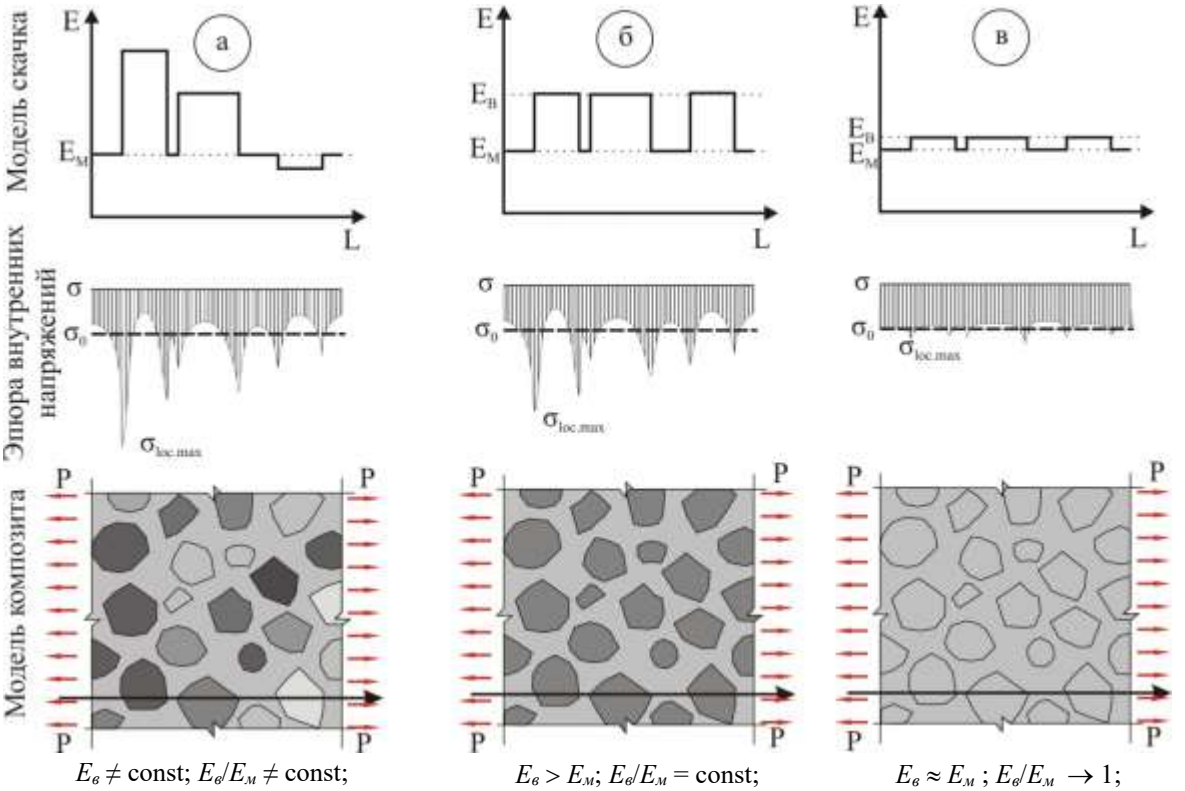


Рисунок 1 - Модели распределения напряжений по сечению системы «матрица (М) – включения (В)» [22]

Список использованных источников

1. Чернышов, Е. М. Синтез и конструирование структур бетонов нового поколения с позиций управления однородностью-неоднородностью их строения / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения : Восьмые академические чтения РААСН. – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2004. – С. 561-565.

2. Берг, О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона / О.Я. Берг. – М.: Госстройиздат, 1962. – 96 с.

3. Грушко, И.М. Структура и прочность дорожного цементного бетона / И.М. Грушко, Н.Ф. Глущенко, А.Г. Ильин. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1965. – 135 с.

4. Баженов, Ю.М. Бетон при динамическом нагружении / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1970. – 272 с.

5. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. - М.: Стройиздат. 1981. - 464 с.

6. Иванов, И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях / И.А. Иванов. - М.: Стройиздат, 1993. – 182 с.

7. Карпенко, Н.И. Общие модели механики бетона / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.

8. Максимова, И.Н. Структура и прочность конструкционных цементных композитов / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, В.Т. Ерофеев, Ю.П. Скачков. - Саранск, 2015. – 360 с.

9. Чернышов, Е. М. Механизмы и закономерности формирования локализованных напряжений в структуре конгломератных строительных композитов / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2006. – № 2. – С. 50-53.

10. Чернышов, Е. М. Типы подструктур в целостной полиструктуре бетона и закономерности формирования параметров поля напряжений в композите (к развитию теории конструирования и синтеза структур конгломератных строительных композитов) / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году : Сб. науч. тр. / Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). Том 2. – М.: Изд-во АСВ, 2021. – С. 304-314.

11. Гордон, Дж. Конструкции, или Почему не ломаются вещи / Дж. Гордон, Пер. с англ. В. Д. Эфроса; Под ред. С. Т. Милейко. — М : Мир, 1980. — 390 с.

12. Ицкович, С.М. Технология заполнителей бетона / С.М. Ицкович, Л.Д. Чумаков, Ю.М. Баженов. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.

13. Глазов, А. Л. Теоретическое и экспериментальное исследование лазерного фотоакустического эффекта вблизи отверстия в металлических пластинах с внутренними напряжениями / А. Л. Глазов, Н. Ф. Морозов, К. Л. Муратиков // Физическая мезомеханика. – 2019. – Т. 22, № 2. – С. 49-58. – DOI 10.24411/1683-805X-2019-12004.

14. Grain-scale stress heterogeneity in concrete from in-situ X-ray measurements / M. M. Thakur, N. A. Henningsson, J. Engqvist [et al.] // Cement and Concrete Research. – 2025. – Vol. 190. – P. 107789. – DOI 10.1016/j.cemconres.2025.107789.

15. Расчетно-экспериментальные исследования внутренних напряжений в строительных материалах / Ю. А. Соколова, В. И. Кондращенко, А. Г. Кесарийский [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2020. – № 4(7). – С. 60-65. – DOI 10.24411/2686-7818-2020-10037.

16. Исследование порошково-активированных бетонов методами лазерной интерферометрии / В. И. Травуш, Н. И. Карпенко, В. Т. Ерофеев [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 4-5. – С. 18-28. – DOI 10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-18-28.

17. Зайцев, Ю.В. Механика разрушения для строителей / Ю.В. Зайцев. – М.: Высш. шк., 1991. – 288 с.

18. Ахвердов, И.Н. Моделирование напряженного состояния бетона и железобетона / И.Н. Ахвердов, А.Е. Смольский, В.В. Скочеляс. - Минск: Наука и техника, 1973. - 290 с.

19. Гусев, Б. В. Напряженно-деформированное состояние в бетоне как композиционном материале / Б. В. Гусев // Технологии бетонов. – 2015. – № 1-2(102-103). – С. 21-25.

20. Иванов И.А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. – М.: Стройиздат, 1993. – 182 с.

21. Полилов, А. Н. Механизмы уменьшения концентрации напряжений в волокнистых композитах / А. Н. Полилов // Прикладная механика и техническая физика. – 2014. – Т. 55, № 1(323). – С. 187-197.

22. Чернышов, Е. М. К моделированию напряженного состояния структурно-неоднородных конгломератных композитов в строительных конструкциях / Е. М. Чернышов, А. И. Макеев // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 160-170.

23. Чернышов, Е. М. Неоднородность строения и закономерности формирования поля внутренних напряжений при силовом нагружении строительных композитов / Е. М. Чернышов, Е. И. Дьяченко, А. И. Макеев // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2000. – № 3. – С. 184-193.

24. Caliskan, S. Aggregate/mortar interface: influence of silica fume at the micro- and macro-level / S. Caliskan // Cement and Concrete Composites. V. 25, I. 4-5 , 2003, P. 557-564

25. Макридин, Н. И. Деформирование структуры легкого конструкционного бетона при одноосном сжатии / Н. И. Макридин, И. Н. Максимова // Региональная архитектура и строительство. – 2025. – № 1(62). – С. 56-67.

26. Makeev, A. Information modeling of concrete: current status and development prospects / A. Makeev // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2023. – Vol. 19, No. 4. – P. 95-115.

УДК 666.972.524
67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ МОРОЗОСОЛЕСТОЙКОСТИ БЕТОНА В ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СРЕДЕ МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Малюк Владислав Викторович [1,2],
старший научный сотрудник, кандидат технических наук,
e-mail: mvv.77@mail.ru

Малюк Виктор Данилович [1,2],
ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук,
e-mail: mvd46@bk.ru

Вавренюк Светлана Викторовна [1],
заместитель директора, доктор технических наук,
e-mail: svvn59@mail.ru

Строкин Константин Борисович [2]
директор технического нефтегазового института, профессор
e-mail: strokin07@rambler.ru

[1] Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, 690033, г. Владивосток, ул. Бородинская, д. 14
[2] ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет» (СахГУ), 693000, г. Южно-Сахалинск, Коммунистический проспект, д. 33

Состояние вопроса

Основы методологии оценки стойкости бетона в условиях морозного воздействия были заложены в конце 19 века с целью систематического изучения причин разрушения конструкций в морской воде. С ростом объемов применения бетона для морского гидротехнического строительства явно проявилась необходимость исследования такого показателя качества бетона как морозостойкость. В 1884 году для единообразия оценки морозостойкости была принята методика испытания, разработанная профессором Н.А. Белелюбским [5]. Концепция морозостойкости была определена как способность материала сохранять свою структурную целостность и прочностные характеристики при многократном чередовании циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии. Методология основана на факторах, влияющих на бетон в зоне переменного уровня воды. Предполагается, что циклы замораживания-оттаивание связанны с приливами: замораживание бетона происходит во время отлива, а оттаивание – во время прилива. Несмотря на условность методики, она позволила сформулировать основные принципы технологии морозостойких бетонов. Эти принципы до сих пор используются для изучения морозостойкости бетона. Однако условность методики моделирования морозного воздействия, многообразие факторов и их взаимодействия в механизме замораживания бетона затрудняет создание единой теории морозостойкости бетона для борьбы с морозной коррозией.

Опубликованы тысячи работ, посвященные морозостойкости бетона, в том числе методам испытаний. В отечественной практике наиболее интенсивно исследования выполнялись в 1960-1980-х годах. В последующий период программа исследования проблемы морозостойкости бетона на систематической основе была свернута и исследования в этом направлении выполнялись на чистом энтузиазме [7]. По зарубежным публикациям видно, что в настоящее время интерес к проблеме морозостойкости бетона не снижается. Анализ большой выборки работ по этой проблеме за последние 40 лет (более 7000 публикаций) показал, что за последние 10 лет (2015-2024 гг) число публикаций возросло в 6 раз (3000 публикаций) [15].

В международном научном сообществе наблюдается активное развитие методов оценки морозостойкости строительных материалов. Скандинавские страны занимают лидирующие позиции в этой области, что подтверждается анализом актуальных научных публикаций. Кроме того, в последние годы наблюдается значительный интерес к данной проблеме в Китае [15], что свидетельствует о глобальной тенденции к улучшению качества и надежности строительных конструкций в условиях низких температур.

В группе по долговечности и структурной прочности бетона при циклическом замерзании подчеркивается необходимость усовершенствования методов испытаний, которые точно имитируют реальные циклы замораживания-оттаивания. Внедрение региональных нормативных документов, учитывающих такие факторы как асимметричные температурные профили и продолжительность циклов замерзания-оттаивания, может повысить надежность оценок долговечности. Это позволит обеспечить оптимальную работу бетонных конструкций в различных климатических регионах.

В рамках реализации научно-исследовательских работ Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) в Дальневосточном научно-исследовательском институте строительства (ДальНИИС) по плану 2024-2026 годов осуществляется комплексное исследование, направленное на разработку методологической базы для прогнозирования долговечности железобетонных конструкций морских гидротехнических сооружений в природно-климатических условиях Дальнего Востока.

В статье рассматриваются различные методы оценки агрессивности морской среды для гидротехнических сооружений. Также даются рекомендации по их улучшению с учетом реальных условий эксплуатации.

Методология оценки суровости морозного воздействий на бетон

Исследование научных трудов [1-12, 15-18], посвященных методам определения морозостойкости бетона, выявило две ключевые тенденции в развитии методологической базы: во-первых, повышение надежности стандартных методик; во-вторых, создание новых подходов, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации. Визуализации этих направлений представлена в виде блок-схемы на рис.1а.

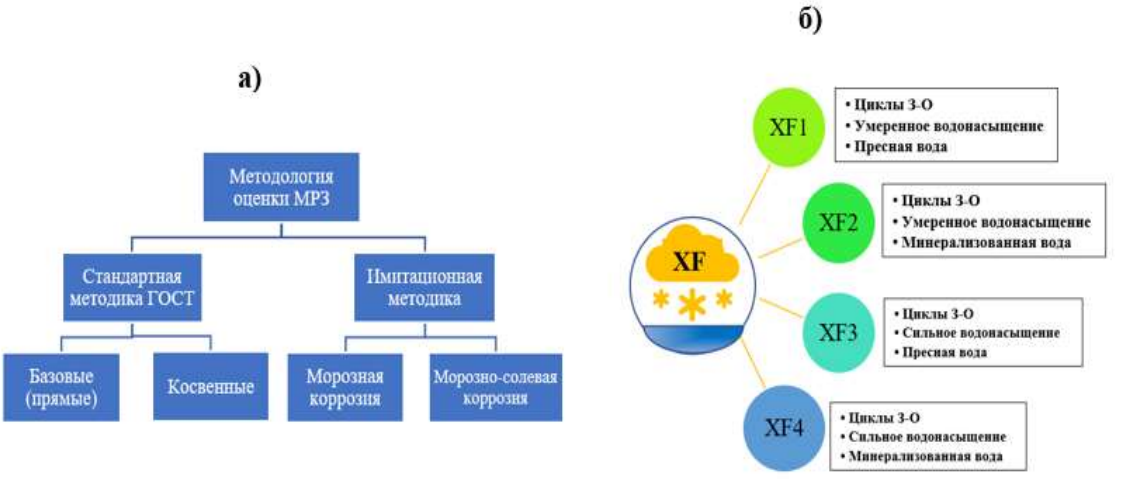


Рисунок 1 – Блок-схемы: а) методология оценки морозного воздействия; б) классификация агрессивной среды в условиях морозного воздействия

Направления отражают стремление к более точной и достоверной оценке морозостойкости бетона, что является критически важным для обеспечения долговечности и надежности бетонных конструкций в условиях холодного климата.

Многообразие методик позволяет на этапе проектирования защиты бетона от коррозии выбрать методику для оценки показателя качества бетона, которая в наибольшей степени имитирует эксплуатационную среду сооружения и позволяет надежно оценить прогнозный срок службы строительной конструкции.

При проектировании защиты строительных конструкций от коррозии важно определить степень агрессивности эксплуатационной среды сооружения и назначить требования к показателям качества бетона, которые позволят обеспечить требуемую долговечность. Для этой цели разработана классификация агрессивных сред и рекомендации по технологии бетона для обеспечения срока службы конструкций не менее 50 лет.

Классификация агрессивности морозного воздействия обусловлена необходимостью систематизации данных о влиянии низких температур на бетон и выбора оптимальных мер защиты бетонных конструкций для обеспечения долговечности сооружений. В настоящее время морозное воздействие на бетон классифицируется по агрессивности в соответствии с СП 28.13330 (рис. 1б). Эксплуатационная среда для бетонных сооружений, в которой определяющим фактором является морозное воздействие относится к классу агрессивности XF. В зависимости от степени водонасыщения бетона и минерализации воды насыщения он подразделяется на четыре типа: XF1, XF2, XF3, XF4.

В России агрессивная среда класса XF применяется для назначения марки бетона по морозостойкости. Для эксплуатационных условий с агрессивностью XF1 и XF3 назначается марка F_1, для среды XF2 и XF4 марка по морозостойкости F_2. Высокий уровень агрессивности вида XF3 и XF4 присваивается эксплуатационным условиям, в которых бетон сильно насыщается соответственно пресной водой или растворами солей антиобледенителей (морской водой). Индекс F_1 и F_2 принят для выбора метода оценки стойкости бетона с учетом среды и режима испытания.

Разделение методов испытаний на два вида обусловлено особенностями процесса разрушения бетона при насыщении минерализованной водой. Отмечено, что при минерализации воды деградация материала происходит более интенсивно и проявляется обычно в форме шелушения. В результате выделяют две основные формы разрушения: поверхностное шелушение и нарушение внутренней структуры бетона. Поверхностное разрушение наблюдается в случае, когда на поверхности бетонного массива при

его замерзании присутствует минерализованная вода, т.е. при морозе на поверхности образуется наледь. В Европе разработаны и применяются методы испытаний, которые имитируют процесс замерзания бетона с учётом местных природно-климатических условий [6, 22]. Эти методы позволяют более точно оценить поведение бетона в условиях низких температур. В России также наблюдается интерес к использованию подобных методик, однако климатические особенности страны, такие как продолжительность зимнего периода, требуют проведения дополнительных исследований для определения морозостойкости бетона с учётом реальных условий эксплуатации конструкций.

Анализ методологических подходов к оценке морозостойкости бетона показывает , что основная цель таких испытаний заключается как в выявлении ключевых параметров материала, определяющих его способность противостоять циклическим замораживанию-оттаиванию, так и в оценке соответствия характеристик бетонной смеси и бетона установленным критериям приемки. На сегодняшний день разработано множество методик испытаний бетона на морозостойкость, каждая из которых имеет свои особенности и ограничения. Однако, несмотря на разнообразие подходов, все они сталкиваются с общим недостатком: неспособности в полной мере воспроизвести сложные физико-химические процессы, происходящие в материале в реальных условиях эксплуатации. Этот вопрос приобретает особую актуальность в свете того, что структура бетона чрезвычайно чувствительна к температурно-влажностным воздействиям, что проявляется как на этапе твердения бетона (т.е. в период формирования структуры бетона), так и в процессе длительной эксплуатации.

Современные научные представления, объясняющие деградацию бетонных конструкций под воздействием циклических температурных колебаний, базируются на фундаментальных законах термодинамики и углубленных исследованиях в области термодиффузии, где массоперенос рассматривается как результат градиента температур.

Морозное воздействие в этих условиях можно представить в виде нагрузки P_{F1} от трех факторов: числа циклов замораживания и оттаивания (N_{FT}); температуры оттаивания (T_T); температуры замораживания (T_F), т.е. в виде выражения:

$$P_{F1} = f(T_F; T_T; N_{FT}) \quad (1)$$

Общим признаком всех методов оценки морозостойкости является то, что они имитируют сложные процессы массопереноса порового раствора в структуре бетона при многоцикловом режиме замораживания-оттаивания. Это воздействие принято в качестве основополагающего, поэтому процессы массопереноса порового раствора, рассматриваются с точки зрения термодиффузии. Важно подчеркнуть, что при моделировании цикла замораживания-оттаивание по ГОСТ 10060 время проведения процедуры значительно уменьшается, тогда как диапазон температурных колебаний, напротив, расширяется до 40 ^{0}C. Концепция методологии оценки морозостойкости основанной на положениях термодиффузии требует жестких условий к режиму испытаний для получения надежных результатов при сравнительных испытаниях. Этот вопрос является наиболее дискуссионным при обсуждении методик и роли режима внешнего воздействия. Поэтому рассматривается необходимость ужесточения требований к процедуре испытания для получения достоверных результатов [9, 11].

Определяющие факторы морозного воздействия на бетон в зоне переменного уровня воды

Разрушение бетона в реальных условиях эксплуатации при воздействии отрицательных температур не всегда можно связать и объяснить процессами термодиффузии. Примером является эксплуатация конструкций морских гидротехнических сооружений (МГТС) в зоне переменного уровня воды на побережье дальневосточных морей. В зимний период, который длится 80-90 суток, такие конструкции могут находиться под слоем морского льда толщиной от 200 до 800 мм. Это обусловлено комплексом природно-климатических и гидрологических факторов, формируемых водным бассейном Тихого океана. В результате этого воздействия наблюдается разрушение бетона на глубину защитного слоя (40-60 мм) уже после первого зимнего цикла [13, 14, 23, 24].

В этих условиях механизм разрушения бетона, основанный на термодиффузии, очевидно, не может раскрыть истинных причин его деградации. Поэтому общепринятые методы моделирования морозного воздействия не могут быть полноценно использованы для изучения морозного воздействия, связанного с длительным обледенением морским льдом.

В связи с этим в течение 2023-2026 года проводятся исследования температурного режима бетона в зоне переменного уровня воды, где происходит образования наледи [13].

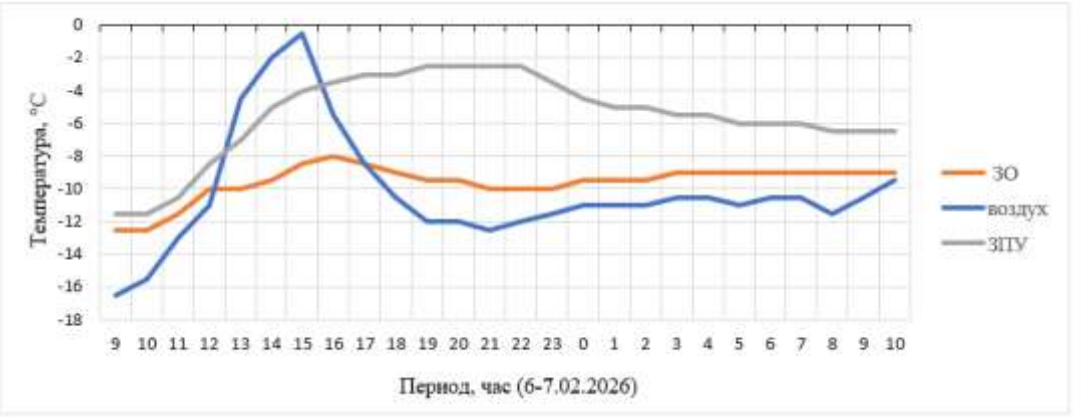


Рисунок 2 – График хода температуры: бетона в зоне переменного уровня (ЗПУ) на отметке (–0,5); воздуха в районе объекта; бетона в зоне обледенения (ЗО) на отметке (+ 2.2). Результаты мониторинга за сезон 2025-2026 год

На рис. 2 и 3 представлены соответственно примеры: а) ход температуры воздуха и бетона на различных участках зоны переменного уровня в период минимальной температуры воздуха; б) режим стандартных испытаний в морозильной камере по ГОСТ 10060. Видно существенное различие в температуре и длительности воздействия. Поэтому дискуссия о надежности стандартных испытаний имеет смысл, когда это касается сравнительных испытаний между лабораториями. Для условий, когда различие в продолжительности морозного воздействия при обледенении морским льдом достигает трех порядков, безусловно, трудно применить стандартные методы оценки стойкости к морозному воздействию.



Рисунок 3 – Блок-схема методологии оценки стойкости бетона к морозному воздействию в зоне переменного уровня морских гидротехнических сооружений

Эту проблему предлагается решить за счет совершенствования процедуры лабораторных испытаний. На рис. 3 представлена блок-схема методологии оценки морозостойкости бетона при эксплуатации конструкций в агрессивной среде вида XF4, которая адаптированная к условиям эксплуатации МГТС, т.е. с учетом разделения зоны переменного уровня воды на зоны действия прилива и всплеска волны.

Такой подход позволит выявить ключевые факторы, определяющие устойчивость бетонных конструкций к морозному воздействию в специфических условиях дальневосточного побережья, и связать динамику разрушения бетона с законами термодинамики.

Левая ветвь блок-схемы (рис. 3) представляет классический (стандартный) подход к оценке стойкости бетона к морозному воздействию (морозостойкости). Принято считать, что стандартные методы в наибольшей степени имитируют реальное морозное воздействие на бетон МГТС. Участок прилива-отлива по классическому представлению подвержен зимой многоцикловому воздействию знакопеременных температур, поскольку во время отлива бетон должен замерзать, а в течение прилива– оттаивать. В этом случае механизм разрушения бетона в полной мере можно связать с процессами массопереноса, обусловленные динамикой тепловых полей, т.е. термодиффузией.

Правая часть блок-схемы (см. рис. 3) демонстрирует предлагаемую методику оценки долговечности бетона при длительном воздействии морского льда. Лабораторные испытания, проведённые с использованием этой методики, подтвердили её способность оценивать устойчивость бетона к таким условиям. Исследование стойкости бетона при различных режимах испытания на морозостойкость показало, что суровость метода длительного замораживания (90 суток) в минерализованной воде существенно превышает суровость режима базового метода и сравнима с суровостью стандартного ускоренного метода. На рис.4 представлены результаты испытания бетона после длительного замораживания и третьим ускоренным методом. По второму базовому методу оценки этот бетон соответствует марке F_2600.



Рисунок 4 – Состояние образцов марки F_2600 после: а) 37 циклов ускоренных испытаний при – 50 ^{0}C (3 метод ГОСТ 10060); б) 60 суток замораживания в 5%-м растворе хлорида натрия при – 18 ^{0}C

Деградация бетона представляет собой сложный процесс, связанный с фазовым переходом порового раствора при достижении порогового значения насыщения капиллярных пор. В связи с этим, необходимо провести детальное исследование физических механизмов, приводящих к этой критической стадии при длительном воздействии отрицательных температур в минерализованной водной среде.

Алгоритм программы исследований, очевидно, должна определять гипотеза механизма разрушения бетона. Основываясь на законах термодинамики, можно предположить, что решающее значение в этом вопросе имеет концентрационная диффузия, представляющая собой процесс массопереноса, инициированный градиентом концентрации.

В нашем случае нагрузка от внешних воздействий P_{F2} будет зависеть от следующих факторов: температуры замораживания (T_F), длительности замораживания (t_F); концентрации солевого раствора (С). Это можно представить в виде выражения:

$$P_{F2} = f(T_F; t_F; C) \quad (2)$$

Инициирование процесса деструкции бетона обусловлено сложным взаимодействием факторов, представленных в выражении (2). Синергия этих факторов значительно усложняет моделирование данного явления на этапе экспериментальных исследований.

Следует отметить, что третий ускоренный метод испытания на морозостойкость по ГОСТ 10060 в определенной степени моделирует процесс обледенения, поскольку процедура испытания включает замораживание бетона в минерализованной воде. Однако цикл выдержки бетона при отрицательной температуре составляет не более 10 часов. Реально бетон в условиях обледенения находится до 90 суток, т.е. 2160 часов. При ускоренных испытаниях температура замораживания бетона понижается до минус 50 ^{0}C, что значительно ниже реальной температуры бетона, которая в конструкциях не ниже минус 15 ^{0}C. Поэтому стандартным ускоренным методом практически нельзя определить, ключевой фактор, влияющий на стойкость бетона в реальных условиях.

Предлагаемая методика оценки с фазой замораживания до 90 суток имеет ряд преимуществ:

- позволяет оценить роль реальных условий эксплуатации на стойкость к морозному воздействию;

- упростить режим испытаний за счет снижения требований к температурным колебаниям и исключения проблемы в выборе продолжительности температурных фаз;

- снизить требования к испытательному оборудованию, поскольку отсутствует необходимость в применении низкотемпературных камер.

Несмотря на длительность испытаний (до 90 суток), предлагаемый метод можно рекомендовать в качестве базового при оценке морозосолестойкости бетона, поскольку, например, продолжительность испытания ускоренным методом для бетона марки F_2300 составляет до двух месяцев, а базовым– превышает шесть месяцев.

Многоцикловой режим стандартного ускоренного метода для подтверждения марки F_2, характеризующийся чередованием кратковременных фаз замораживания, не предоставляет полной возможности для всесторонней оценки воздействия минерализованной воды на процессы концентрационной диффузии. Кратковременное замораживание бетона (4,5 ч) до температуры минус 50 ^{0}C, с одной стороны, способствует увеличению объема активных пор бетона с точки зрения морозостойкости и повышает суровость морозного воздействия, с другой – значительно снижает диффузионные процессы, которые могут происходить в поровой структуре бетона, насыщенного морской водой, при температурах минус 10-15 ^{0}C. Это существенно усложняет задачу определения этим методом ключевого фактора в механизме комплексного морозно-солевого воздействия, а не морозостойкость бетона в традиционном понимании этого термина.

Выводы

Анализ методологических подходов к оценке морозостойкости бетона выявляет необходимость совершенствования методов на основе концепции учета термодинамических процессов, происходящих в материалах при реальных условиях эксплуатации. Предлагаемая методика оценки морозно-солевого воздействия на бетон, разработанная для специфических региональных условий побережья дальневосточных морей, позволит повысить достоверность результатов. Данный подход способствует более точной и надежной оценке агрессивности эксплуатационной среды по отношению различным составам бетона, а также снять существующие противоречия в оценке стойкости бетона в морской воде и причинах его разрушения.

Список использованных источников

1. Горчаков Г. И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений [Текст] / Г. И. Горчаков, М. М. Капкин, Б. Г. Скрамтаев. - Москва: Стройиздат, 1965. - 195 с.
2. Иванов, Ф.М. Стойкость бетона в суровых климатических условиях/ Ф.М. Иванов. - Текст: непосредственный// Алексеев, Ф.М. Долговечность железобетона в агрессивных средах: монография / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссль.– Москва: Стройиздат, 1990.- 320 с.- ISBN 5-274-00923-9.
3. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты /Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А.- М. Стройиздат, 1980.- 536 с.
4. Москвин В. М. Коррозия бетона. - М.: Госстройиздат, 1952- 344 с.
5. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера.- Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1983.-132 с.
6. Фаликман В.Р., Степанова В.Ф., Чехний Г.В. О нормировании морозостойкости бетона в зарубежной и отечественной практике // Бетон и железобетон. 2021. № 1 (603). С. 8–15.
7. Степанова, В.Ф. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций / В.Ф. Степанова, В.Р. Фаликман // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 томах. Том 3. – М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2014. – С. 430-444.
8. Чернышов Е.М. Морозная деструкция бетонов. Часть 1. Механизм, критериальные условия управления // Строительные материалы. — 2017. — №9 — С. 40-46.
9. Степанова В.Ф., Чехний Г.В., Паршина И.М., Орехов С.А. Исследование морозостойкости бетона с целью корректировки стандарта ГОСТ 10060-2012. Вестник НИЦ «Строительство». 2021;30(3):78–87. https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-78-87

10. Степанова В. Ф, Розенталь Н. К, Чехний Г. В, Паршина И. М, Орехов С. А, Джейранов С. Э. Исследование морозостойкости бетона с целью уточнения методов определения его морозостойкости/морозосолестойкости Вестник НИЦ «Строительство» • 1(24)2020.

11. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Анализ методов определения морозостойкости бетона. Вестник НИЦ «Строительство». 2023;38(3):128–142. https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-3(38)-128-142.

12. Перцева А.Е., Хижняк Н.С., Никольский С.Г. Нормативные документы по морозостойкости бетона стран Европейского Союза, Соединенных Штатов Америки и Российской Федерации // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №2 (2017) http://t-s.today/PDF/01TS217.pdf (доступ свободный). DOI: 10.15862/01TS217.

13. Малюк В.В. Долговечность конструкционного бетона при морозных и солевых воздействиях: мониторинг, испытания, рекомендации [Текст]: монография /В.В. Малюк, В.Д. Малюк, С.Н. Леонович. – Москва: ИНФРА-М, 2023. - 226 с. DOI 10.12737/2035493.

14. Вавренюк С.В. Результаты исследования причин разрушения бетонного покрытия морского пирса на побережье Японского моря. /С.В. Вавренюк, Ю.В. Ефименко, В.Г. Вавренюк, А.Э. Фарафонов // Строительные материалы. 2019. №11.

15. Magdalena Rajczakowska, Iveta Novakova, Adeolu Adediran, Priyadharshini Perumal, Ólafur Haralds Wallevik, Andrzej Cwirzen, Frost durability of cementitious materials: What's next ?, Case Studies in Construction Materials, 10.1016/j.cscm.2024. e04014, 21, (e04014), (2024).

16. Miguel Ferreira, Hannele Kuosa, Lasse Makkonen. Performance and durability of concrete in extreme cold environment - Literature Review. 2013.

17. Setzer, M.J. "Development of the micro-ice-lens model" RILEM Proceedings PRO 24 – Frost Resistance of Concrete" Essen, Germany, April 2002. ISBN 2-912143-30-6

18. Göran Fagerlund Frost Destruction of Concrete – A Study of the Validity of Different Mechanisms. Nordic Concrete Research – Publ. No. NCR 58 – ISSUE 1 / 2018 – Article 3, pp. 35-54. URL: https://doi.org/10.2478/ncr-2018-0003.

19. Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability: State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC (RILEM State-of-the-Art Reports (18), Springer; 1st ed. 2016, (October 3, 2015), 391 p.

20. John J. Valenza, George W. Scherer, A review of salt scaling: I. Phenomenology, Cement and Concrete Research, Volume 37, Issue 7, 2007, Pages 1007-1021, ISSN 0008-8846, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.03.005.

21. Hasholt, M. T., Frid, K., Spörel, F., Lahdensivu, J., Helsing, E., Müller, M., Faheem, A., Sleiman, S. A. H., & Jacobsen, S. (2022). Nordic Concrete Research workshop: "Accelerated freeze-thaw testing of concrete", Lyngby, 20th April 2022. Nordic Concrete Research, 66(1), 113-133. https://doi.org/10.2478/ncr-2022-0007

22. Kuosa, H. Freeze-thaw testing, CSLA Projekct – Task 1. Literature Review / H. Kuosa, M. Ferreira, M. Leivo // Research report VTT-R-07364-12. – VTT technical Research Centre of Finland, 2013. – 40 p.

23. V.V. Malyuk, V.D. Malyuk, S. Vavrenyuk1, S. Leonovich. External impact load on concrete in aggressive environments of class XF 4. AIP Conf. Proc. 2910, 020183 (2023). https://doi.org/10.1063/5.0175214.

24. Malyuk V., Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 022071. URL: https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071.

УДК 692.232
67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО УВЛАЖНЕНИЯ-ВЫСЫХАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Мельников Денис Сергеевич
ООО "МП-СТРОЙ", директор по строительству
e-mail: proekt.mp@yandex.ru

Албо Джасим Ахмед Хаззаа Ибрахим
Воронежский государственный технический университет, аспирант
e-mail: ahmad.alsultany@yandex.ru

Аннотация
Представлены результаты комплексного экспериментального исследования долговечности мелкозернистых бетонных композитов, модифицированных минеральными и органоминеральными добавками, при циклическом воздействии увлажнения и высыхания. Исследовано четыре состава на основе портландцемента ЦЕМ I 42,5Н с использованием кварцевого песка и известняковой муки в качестве наполнителей, а также метакаолина и комплекса «жидкое стекло + ксантановая камедь» в качестве модификаторов вязкости. Образцы-кубы размером 50×50×50 мм после 28 суток нормального твердения подвергались 25 и 50 циклам увлажнения (12 ч в воде) и высыхания (12 ч при 50 °С). Установлено, что максимальной исходной прочностью (62,5 МПа) и наилучшей стабильностью при циклических воздействиях обладает состав на песке с метакаолином, показавший прирост прочности более, чем на 30 % после 50 циклов увлажнения-высушивания. Показано, что бетоны на основе жидкого стекла и ксантановой камеди не обеспечивают долговременной стойкости к циклическим нагрузкам, так как после роста прочности после 25 циклов увлажнения-высушивания, после 50 циклов их прочность снижается до уровня исходной, что свидетельствует о деструктивных процессах в структуре. Состав цементного бетона на песке с использованием метакаолина в качестве модификатора вязкости рекомендуется для применения в конструкциях, эксплуатируемых в условиях переменного увлажнения-высыхания.

Ключевые слова: строительная 3Dпечать, мелкозернисный бетон, циклическое увлажнение-высыхание, прочность, водопоглощение.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективны направлений реализации аддитивных технологий в строительстве возможна сфера специального строительства, где требуется высокая точность, автономность процессов и возможность быстрого возведения объектов в труднодоступных или экстремальных условиях[1,2].

В частности, имеется опыт эффективного использования 3D-печати сооружений и конструкций (набережных, волноломов, причальных стенок), эксплуатируемых в водной среде или при переменном влажностном режиме [1,2]. Однако применение аддитивных технологий для более масштабных гидротехнических объектов сдерживается недостаточной изученностью долговечности 3D-печатных бетонных композитов в условиях длительного и циклического воздействия воды. Специфика бетонных смесей для 3D-печати заключается в необходимости обеспечения одновременно высокой тиксотропности, связности, стабильности формы и достаточного времени сохранения технологических свойств. Это достигается введением комплекса добавок: модификаторов вязкости (органических полисахаридов, микрокремнезема, метакаолина), пластификаторов, а также наполнителей различной дисперсности. Такие добавки, изменяя реологию смеси, неизбежно влияют на формирование структуры цементного камня[3], его поровое пространство и, как следствие, на стойкость к внешним воздействиям [3].

Для конструкций, эксплуатируемых в условиях переменного увлажнения, критическим фактором является именно циклическое воздействие увлажнения и высыхания. В отличие от стационарного водонасыщения, которое может приводить к постепенному набуханию и снижению прочности, переменный режим создает знакопеременные напряжения в структуре материала [4,5]. При этом в научной литературе практически отсутствуют систематические данные о поведении 3D-печатных бетонов с различ-

ными типами модификаторов вязкости и наполнителей при многократных циклах «увлажнение-высушивание». Каждый цикл увлажнения-высыхания инициирует комплекс взаимосвязанных процессов: водонасыщение с последующим испарением, кристаллизацию растворимых солей в порах, дополнительную гидратацию непрореагировавших зерен цемента, карбонизацию поверхностных слоев, а также возникновение внутренних напряжений из-за несовместимости деформаций различных компонентов композита.

Именно такой режим является наиболее агрессивным для долговечности, так как он:

- способствует накоплению усталостных микротрещин;
- вызывает деградацию органических модификаторов, подверженных гидролизу;
- изменяет напряженно-деформированное состояние материала.

Для бетонов, предназначенных для 3D-печати, где структура формируется послойно и содержит технологические швы, а также специфические добавки, оценка стойкости к циклическому увлажнению-высыханию приобретает особую значимость. Отсутствие таких данных делает невозможным прогнозирование срока службы 3D-печатных сооружений в реальных условиях эксплуатации.

Таким образом, целью настоящей работы является установление взаимосвязи между параметрами состава бетонов для аддитивных строительных технологий (3D-печати) и их стойкостью к циклическому увлажнению-высыханию.

Задачи исследования:

1. Оценить влияние состава бетонов для аддитивных строительных технологий (3D-печати) на прочность и водопоглощение в проектном возрасте (после твердения в течении 28 суток в нормальных условиях).

2. Оценить изменение прочности бетонов для аддитивных строительных технологий (3D-печати) после 25 и 50 циклов увлажнения-высыхания.

3. Определить рациональный состав бетона, обладающий наибольшей стойкостью к знакопеременным влажностным воздействиям.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях рассмотрены 4 вида смесей, составы которых оптимизированы и запатентованы на основании предыдущих исследований [6-9]. В составах которых соблюдалось постоянство дозировок суперпластификатора, фибры, массовое соотношение вяжущего и наполнителя. Отличие между смесями заключалось в типе и гранулометрии наполнителя и модификаторах вязкости, принципиально отличающихся по механизму влияния на структурообразование и состав новообразований цементирующего вещества (табл. 1, 2).

Таблица 1

Характеристика сырьевых компонентов

Вид компонента	Марка, производитель	Характеристика химического состава	Характеристика гранулометрического состава
Цемент (Ц)	ЦЕМ I 42,5Н, ЗАО "Подгоренский цементный завод"	CaO — 66,03%; SiO_2 — 22,34%; Al_2O_3 — 5,91%; Fe_2O_3 — 4,39%; MgO — 0,49%; SO_3 — 0,28%; R_2O (в пересчете на Na_2O) — 0,71%	Удельная поверхность: 300–330 м²/кг. Минералогический состав клинкера: C_3S — 62%; C_2S — 13%; C_3A — 7,5%; C_4AF — 11,5%
Песок кварцевый (П)	Семилукское месторождение, обогащённый, соотв. ГОСТ 8736-2014	SiO_2 — 95,2%; $CaCO_3$ — 4,8%	Модуль крупности ≤ 1,25; насыпная плотность 1460 кг/м³; распределение частиц по фракциям: 13,2% (630 000 нм), 49,3% (315 000 нм), 37,5% (160 000 нм)
Мука известняковая (ИМ)	ООО "ВЗМП", соотв. ГОСТ 26826-86	$CaCO_3$ — 95,17% (карбонат кальция); остальное — карбонат магния	Распределение частиц по фракциям: 10% (55 000 нм), 10% (27 000 нм), 19,8% (10 000 нм), 14,2% (2000 нм), 7,8% (1000 нм)

Вид компонента	Марка, производитель	Характеристика химического состава	Характеристика гранулометрического состава
модификатор вязкости метакаолин (МКЛ)	ВМК-45, ООО "СИНЕРГО" (ТУ 23.19.99-004-34556001-2017	SiO_2 — 53%; Al_2O_3 — 46%; Fe_2O_3 — 0,1%; потери при прокаливании — 1%; пуццолановая активность — 1100 мг $Ca(OH)_2$/г	Насыпная плотность: 450 кг/м³; удельная поверхность: 17 000 см²/г. Диаметр частиц: 1–5 мкм
Камедь ксантановая (КМ)	FUFENG®80	Органическое соединение $(C_{35}H_{49}O_{29})_n$ (ксантановая камедь) — 91%	Распределение частиц по фракциям: 41% (180 000 нм), 35% (200 000 нм), 15% (250 000 нм)
Жидкое стекло техническое (ЖС)	ГОСТ 13078-81	SiO_2 — 33,76%; Na_2O — 10,63%	
Фибра полипропиленовая (ВЛ)	Sika Fiber PPM-12, ООО "ЦЕММИКС" (ТУ 20.59.59-001-90557835-2017)	Полипропилен $(C_3H_6)_n$	Длина волокна: 6 мм; диаметр волокна: 20 мкм; линейная плотность: до 28 dtex
Суперпластификатор (СП)	pulmix 4033, ООО "Полипласт" (ТУ 20.59.59-131-58042865-2021)	Поликарбоксилатные эфиры (ПКЭ)	

Таблица 2

Характеристики составов смесей для 3D-печати

Обозначение смеси	Ц: П, масс. доли	Ц: ИМ, масс. доли	Дозировка добавок,% от массы цемента				В/Ц
			ВЛ	СП	ЖС-КМ	МКЛ	
Ц - П-МКЛ	1:1,25	-	0,25	0,4	-	2	0,35
Ц -ИМ-МКЛ	-	1:1	0,25	0,4	-	2	0,35
Ц -П-ЖС-КМ	1:1,25	-	0,25	0,4	0,2+0,2	-	0,35
Ц -ИМ-ЖС-КМ	-	1:1	0,25	0,4	0,2+0,2	-	0,35

Приготовление смесей осуществлялось в лабораторном лопастном смесителе MATEST-E095. Сухие компоненты предварительно перемешивались в течение 1 минуты, затем добавлялась вода с растворенными добавками. Общее время перемешивания — 3 минуты до получения однородной консистенции. Из каждой смеси формовались образцы-кубы размером 50×50×50 мм в стальных формах. Уплотнение производилось на виброплощадке в течение 30 секунд. Через 24 часа образцы извлекались из форм, маркировались и помещались в камеру нормального твердения при температуре 20-25 °C и относительной влажности не менее 95% на 28 суток.

Для каждого состава было изготовлено по 24 образца, которые после твердения разделялись на 4 серии:

- серия 1 (контрольная) — определение прочности при сжатии после 28 суток нормального твердения (R_0);
- серия 2 (водонасыщение) — определение водопоглощения и прочности после водонасыщения ($R_{вод1}$);
- серия 3 (25 циклов) — испытание после 25 циклов увлажнения-высыхания ($R_{вод25}$);
- серия 4 (50 циклов) — испытание после 50 циклов увлажнения-высыхания ($R_{вод50}$).

Один цикл увлажнения-высыхания включал:

1. высушивание образцов в сушильном шкафу при температуре 50 ± 2 °C в течение 12 часов;

2. охлаждение до комнатной температуры в течение 30 минут;

3. полное погружение в воду с температурой 20 ± 2 °С на 12 часов.

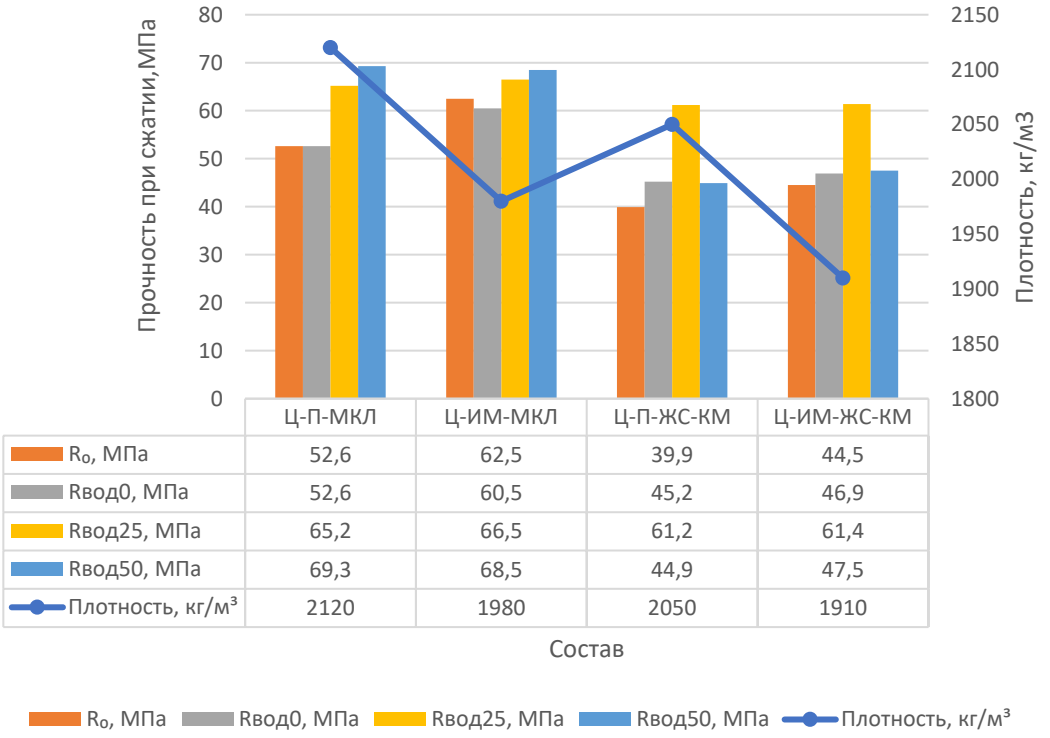
Температура сушки 50 °С выбрана для интенсификации процесса при исключении термической деструкции цементного камня (ниже 60 °С).

Определение водопоглощения производилось страндартным методом по ГОСТ «Бетоны. Метод определения водопоглощения».

Оценка прочности при сжатии всех серий образцов производилась по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» с помощью универсальной 4-колонной напольной гидравлической испытательной системы INSTRON Sates 1500HDS. Для обеспечения статистической достоверности результатов физико-механических испытаний число образцов в сериях составляло 6. Внутрисерийная изменчивость результатов испытаний составляла 5-10 %.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты испытаний образцов бетонов для 3d-печати в различном влажностном состоянии (рис. 1) позволили выявить следующие эффекты влияния и изменения их влагосодержания на прочность.



	Ц-П-МКЛ	Ц-ИМ-МКЛ	Ц-П-ЖС-КМ	Ц-ИМ-ЖС-КМ
R_o, МПа	52,6	62,5	39,9	44,5
Rвод0, МПа	52,6	60,5	45,2	46,9
Rвод25, МПа	65,2	66,5	61,2	61,4
Rвод50, МПа	69,3	68,5	44,9	47,5
Плотность, кг/м³	2120	1980	2050	1910

Рисунок 1 – Результаты оценки прочности образцов бетонов для 3d-печати в различном влажностном состоянии.

Наименьшее водопоглощение соответствует образцам на песке, с модификатором вязкости метакаолин (Ц-П-МКЛ), W =2,5 %. что обусловлено наиболее плотной структурой среди всех образцов. Образцы из состава на известняковой муке имеют более высокое водопоглощение, W =5–6,9%, что может быть обусловлено более высокой способностью к водопоглощению известняковой муки по сравнению с кварцевым песком самого наполнителя. Максимальное водопоглощение зафиксировано у образцов из состава на известняковой муки с комплексным модификатором вязкости на основе камеди и жидкого стекла (Ц-ИМ-ЖС-КМ) – W =6,9%.

Наибольшую проектную прочность демонстрирует образцы на известняковой муке с модификатором вязкости метакаолин (Ц-ИМ-МКЛ), R_0 = 62,5 МПа. Это на 18,8% выше, чем образцы на песке, с тем же модификатором (Ц-П-МКЛ) – R_0 = 52,6 МПа. Данный эффект может быть связан с тем, что комбинация известняковой муки и метакаолина обеспечивает эффект ускорения гидратации цемента за счет их реакционной активности по отношению к цементу. Составы с комплексом ЖС+КМ показывают значительно более низкую проектную прочность (39,9 и 44,5 МПа) — примерно на 20-30% меньше, чем

составы с метакаолином. Это может быть обусловлено замедляющим действием камеди на гидратацию цемента.

После 25 циклов увлажнения-высыхания все образцы бетона увеличили прочность относительно проектной. Это свидетельствует о доминировании процессов структурообразования над деструктивными. Однако характер прироста различается в зависимости от состава.

Наибольший прирост зафиксирован у образцов с ЖС+КМ, несмотря на их наиболее низкую исходную прочность:

- состав Ц-П-ЖС-КМ (R_0 = 39,9 МПа) показал прирост +53,5% ($R_{вод\ 25}$ = 61,2 МПа);
- состав Ц-ИМ-ЖС-КМ (R_0 = 44,5 МПа) показал прирост +37,9% ($R_{вод\ 25}$ = 61,4 МПа).

У составов с метакаолином (МКЛ) прирост прочности после 25 циклов был менее выраженным, но стабильным:

- Ц-П-МКЛ (R_0 = 52,6 МПа) — прирост +24,0% ($R_{вод\ 25}$ = 65,2 МПа);
- Ц-ИМ-МКЛ (R_0 = 62,5 МПа) — прирост +6,4% ($R_{вод\ 25}$ = 66,5 МПа).

После 50 циклов увлажнения-высыхания выявляются принципиально различные тенденции в зависимости от состава.

Для бетонов с метакаолином сохраняется положительная динамика.

- Ц-П-МКЛ (R_0 = 52,6 МПа) демонстрирует максимальный прирост среди всех серий — +31,7% ($R_{вод\ 50}$ = 69,3 МПа).
- Ц-ИМ-МКЛ (R_0 = 62,5 МПа) показывает стабилизацию прочности на уровне 68,5 МПа, что соответствует приросту +9,5% относительно исходной.

Для бетонов с комплексом ЖС+КМ после 50 циклов увлажнения-высыхания фиксируется резкое снижение прочности относительно достигнутого после 25 циклов уровня. При сопоставлении с исходной проектной прочностью (R_0) динамика выглядит следующим образом:

- Ц-П-ЖС-КМ (R_0 = 39,90 МПа): прочность снизилась с 61,24 МПа (после 25 циклов) до 44,99 МПа (после 50 циклов). Относительно проектного значения прочность выше на +12,7%.
- Ц-ИМ-ЖС-КМ (R_0 = 44,54 МПа): прочность снизилась с 61,41 МПа до 47,5 МПа. По отношению к проектной прочности сохраняется незначительный прирост +6,4%.

На основании анализа полученных результатов можно констатировать следующее (рис. 2).

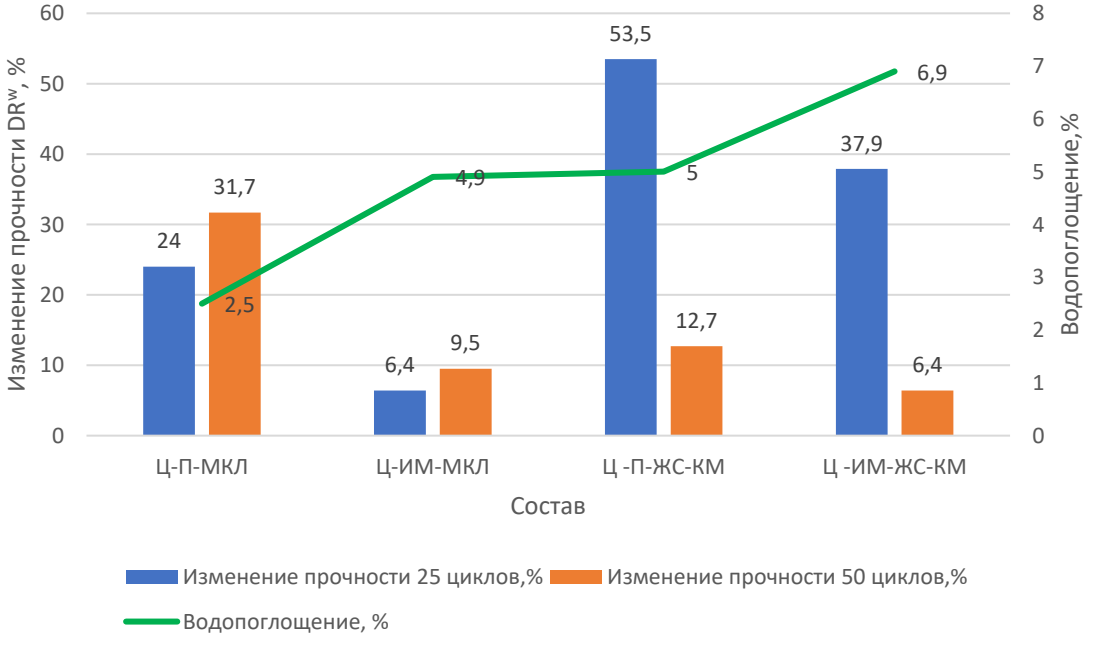


Рисунок 2 – Сопоставление значений прочности и водопоглощения образцов бетонов для 3d-печати

Система Ц-П-МКЛ имеет после 50 циклов прирост прочности +31,7% относительно проектного значения, что может быть обусловлено продолжением гидратации непрореагировавших зерен цемента, пуццолановой реакцией метакаолина, а также эффектом самоуплотнения структуры и карбонизацией поверхностных слоев. Состав характеризуется наименьшим водопоглощением (2,5%), что может свидетельствовать о формировании плотной структуры.

Система Ц-ИМ-МКЛ обладает наивысшей исходной прочностью среди всех составов. После 25 циклов прочность возрастает на +6,4 % , а после 50 циклов на +9,5%. Бетон данного состава демонстрирует наиболее стабильное поведение при циклических воздействиях: отсутствие резких колебаний прочности, плавный выход на плато и сохранение положительной динамики на всем протяжении испытаний. Водопоглощение составляет 4,9 %, что выше, чем у бетона на песке с аналогичным модификатором вязкости.

Система Ц-П-ЖС-КМ характеризуется наиболее низкой исходной прочностью. После 25 циклов фиксируется максимальный прирост среди всех составов – +53,5. Однако после 50 циклов происходит резкое снижение прочности на 26,5 % относительно уровня после 25 циклов, что составляет лишь +12,7 % относительно исходной. Такие изменения указывают на накопление деструктивных процессов после 25 циклов. Это может быть обусловлено гидролизом органической составляющей (ксантановая камедь) и вымыванию при многократном увлажнении, а возможным образованием жидким стеклом хрупких силикатных гелей, склонных к растрескиванию при циклических деформациях. Водопоглощение составляет 5 %.

Прочность системы Ц-ИМ-ЖС-КМ после 25 циклов возрастает +38,0 %. После 50 циклов наблюдается снижение прочности на 22,8% относительно ее уровня после 25 циклов, что соответствует +6,4% относительно исходной. Состав демонстрирует наибольшее водопоглощение среди всех образцов (6,9%), что вероятно обусловлено высокой пористостью известняковой муки и наличием пор на границе раздела с цементным камнем. Несмотря на более высокую исходную прочность по сравнению с бетоном на песке с аналогичным модификатором вязкости, система также подвержена деградации после 25 циклов.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате экспериментальных исследований установлено, что определяющим фактором стойкости слоистого 3D-печатного бетона к увлажнению высушиванию является вид модификатора вязкости. Бетоны, полученные с использованием метакаолина в качестве модификатора, отличаются увеличением прочности по отношению к проектной на 10-30 % после 50 циклов увлажнения-высыхания. Бетоны, полученные с использованием комплексного модификатора вязкости жидкое стекло + камедь ксантановая в качестве модификатора, характеризуются приростом прочности по отношению к проектной 30-50 % после 25 циклов увлажнения-высыхания, и резким ее снижением после 50 циклов.

2. Стойкость к увлажнению высушиванию прямо коррелирует с плотностью и водопоглощением бетона. Чем ниже плотность и, соответственно, выше водопоглощение, тем ниже стойкость к циклическому знакопеременному изменению влагосодержания.

3. На основании полученных результатов состав цементного бетона на песке с использованием метакаолина в качестве модификатора вязкости можно рекомендовать для применения в конструкциях, эксплуатируемых в условиях переменного увлажнения-высыхания, в том числе в гидротехническом и специальном строительстве с применением технологий 3D-печати. Сочетание низкого водопоглощения, высокой плотности и исходной прочности, а также существенного прироста прочности после 50 циклов позволяет прогнозировать длительный срок службы конструкций из данного материала при знакопеременных влажностных воздействиях.

4. Развитие исследований для выявления механизмов, обеспечивающих рост прочности, связаны с нахождением влияния параметров “состав-структура” и требуют проведения дополнительных микроструктурных исследований методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и дифференциально-термического анализа.

Список использованных источников

1. Buswell R.A., Leal de Silva W.R., Bos F.P. et al. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research // Cement and Concrete Research. — 2018. — Vol. 112. — P. 37–49.

2. Marchon D., Kawashima S., Bessaies-Bey H. et al. Hydration and rheology control of concrete for digital fabrication: Potential admixtures and cement chemistry // Cement and Concrete Research. — 2018. — Vol. 112. — P. 96–110.

3. Bonavetti V., Donza H., Menéndez G. et al. Limestone filler cement in low w/c concrete: A rational use of energy // Cement and Concrete Research. — 2003. — Vol. 33, No. 6. — P. 865–871.

4. Сабиров Р.А., Баженов Ю.М. Модифицированные высокопрочные бетоны с использованием метакаолина // Строительные материалы. — 2015. — № 5. — С. 42–46.

5. Шведова М.А., Недосеко И.В. Влияние полисахаридных загустителей на реологические свойства цементных систем для 3D-печати // Технологии бетонов. — 2021. — № 3–4. — С. 28–33.

6. Славчева Г.С., Артамонова О.В., Бритвина Е.А., Бабенко Д.С., Ибряева А.И. Двухфазная смесь на основе цемента для композитов в технологии строительной 3D-печати. Патент на изобретение 2729283 C1, 05.08.2020. Заявка № 2019133428 от 21.10.2019.

7. Славчева Г.С., Артамонова О.В., Шведова М.А., Бритвина Е.А. Двухфазная смесь на основе цемента для композитов в технологии строительной 3D-печати. Патент на изобретение 2729220 C1, 05.08.2020. Заявка № 2019133420 от 21.10.2019.

8. Славчева Г.С., Артамонова О.В., Шведова М.А., Бритвина Е.А. Двухфазная смесь на основе цемента для композитов в технологии строительной 3D-печати. Патент на изобретение 2729086 C1, 04.08.2020. Заявка № 2019133430 от 21.10.2019.

9. Славчева Г.С., Артамонова О.В., Бритвина Е.А., Бабенко Д.С., Ибряева А.И. Двухфазная смесь на основе цемента для композитов в технологии строительной 3D-печати. Патент на изобретение 2729085 C1, 04.08.2020. Заявка № 2019133426 от 21.10.2019.

УДК 692.232

67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение.

ЦЕМЕНТЫ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ С ВКЛЮЧЕНИЕМ БАРИТА И БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

Ремнёв Вячеслав Владимирович,
НИЦ «Строительство», доктор технических наук, профессор, советник РААСН, почётный строитель РФ, советник НИИЖБ им. А.А. Гвоздева,
e-mail: rema5293362@yandex.ru

Вибе Павел Александрович,
ООО «Клин Цемент», руководитель проекта,
e-mail: ilyaoak1999@yandex.ru

Согласно определению, данному академиком Ребиндером [8], «цель механохимии состоит в использовании или предотвращении тех химических реакций в бетоне, которые вызываются или ускоряются механической активацией». Часть механической энергии, подведенной к твердому телу во время активации, усваивается им в виде новой поверхности, линейных и точечных дефектов. Известно, что химические свойства кристаллов определяются наличием в них дефектов, их природой и концентрацией. Механоактивация смеси численно равна суммарному изменению свободной энергии системы под действием механических сил. При затворении водой данной смеси в процессе ее затвердения образуется искусственный микробетон. После измельчения (механоактивации) свободная поверхность не является равновесной и статически устойчивой. В приповерхностном слое начинаются процессы перестройки в направлении к равновесному состоянию. Неравенство между свободной поверхностной энергией и поверхностным натяжением — одна из причин появления дефектов.

Например, механоактивация кварцевого песка даёт:

- Образование активных центров на свежеобразованной поверхности;
- Изменение реакционной способности;
- На поверхности твердого тела формируется поверхностный слой, в котором концентрируется «избыточная» энергия;
- Изменение свободной энергии кварцевого песка вследствие механохимической активации обусловлено изменением суммы поверхностной и внутренней энергии;
- Изменение внутренней энергии за счет дефектов структуры превышает прирост поверхностной энергии кварцевого песка в несколько раз, повышается химическая активность

песка при нормальных условиях;
- Значительно повышается структурообразующая роль песка и наполнителей;
- На месте выхода дислокаций на поверхности кристаллов механоактивированных полупродуктов идет закрепление зародышей новообразований продуктов гидратации цемента.

В процессе механоактивации портландцемента активные молекулы цементных минералов возникают при разрушении молекулярных упаковок на участках дефектов и разрыхлений метастабильной фазы при декомпенсации межмолекулярных сил. Процесс сопровождается изменением кинетики твердения портландцемента. Например, в сутки достигается 50 % от марочной прочности на сжатие (48,0 МПа), в трое суток – 70 % (57,8 МПа), в семь суток – 90 % (77,4 Мпа), в 28 суток (98,2 МПа). Механохимическая активация способствует значительному увеличению удельной поверхности и, как следствие, водопотребности цемента, в присутствии пластифицирующей добавки её можно снизить до 20%.

Механоактивация при помоле сухой строительной смеси (ССС) с пластифицирующей добавкой даёт:

- Увеличение химической активности за счет механического разрушения на более мелкие структурные единицы и изменения электростатического поля её молекул;
- Увеличение однородности сухой строительной смеси по гранулометрическому составу;
- Увеличение до 40% подвижности строительного раствора из сухой строительной смеси при одинаковом содержании пластифицирующей добавки в традиционной рецептуре (ССС) и механоактивированной;
- Увеличение действующей поверхности между цементом и песком при любом количестве содержания добавки.

Механоактивация добавок различного назначения позволяет увеличить их рабочую поверхность в несколько раз, повысить их химическую активность в такой степени, что показатели качества ССС и готовой строительной продукции на основе сухих строительных смесей улучшаются на 15% по сравнению со смесями по традиционной технологии. Целевое применение нескольких добавок одновременно позволяет использовать синергический эффект воздействия функциональных добавок друг на друга, значительно снизить их расход, оптимизировать рецептурный состав ССС.

Установлено, что при механической активации дисперсных минералов твердых веществ в некоторых компонентах твердого тела создаются напряжения с последующей их релаксацией. За счет этого происходит изменение энергетического состояния вещества, повышение реакционной активности путем разрушения частиц, флокуляционных структур, образования свежих развитых и химически активных поверхностей с высокой реакционной способностью. Наибольший эффект от механической активации применительно бетонным композитам достигается при получении полифункциональных комплексных модификаторов, в состав которых входит два и более механоактивированных компонента различных классов.

Современными исследователями поднимается вопрос введения механоактивации компонентов в технологических режимах подготовки сухих строительных смесей. Актуальной задачей современного строительного материаловедения является получение бетонных композитов с требуемыми физико-механическими показателями при сниженных энерго- и ресурсозатратах. При этом важными показателями является сокращение времени выдержки бетона в опалубке, сокращение или отказ от тепловлажностной обработки и уменьшение расхода цемента.

Термин «бетон нового поколения» часто звучит в отечественной литературе, иногда просто для характеристики небольших улучшений свойств бетонов традиционной четырехкомпонентной рецептуры «цемент-песок-щебень-вода» (с добавлением химических добавок). Этой рецептуре исполнилось более 175 лет (с 1840 г.). Термин «высокопрочный» часто используется для характеристики цементных бетонов с прочностью 40-60 МПа. Бетоны с четырёхкомпонентной рецептурой и добавлением суперпластификатора относится к бетонам переходного поколения. Бетоны нового поколения могут быть бетонами не только высокопрочными и сверхпрочными, но и бетонами всех классов - от В10 и выше. Пластифицированные бетоны, в которых традиционная трёхкомпонентная рецептура сухих минеральных компонентов «цемент-песок-щебень» или двухкомпонентная - для песчаных бетонов «цемент-песок» - заменена новой. Будущее бетоном связано с новой пяти-шестикомпонентной рецептурой сухих компонентов, которая радикально усиливает разжижающие действия пластифицирующих добавок, а добавляемые ещё компоненты - молотые дисперсные добавки вводятся не в количестве 20-30%, содержание их находится в количестве от 40% и более от массы цемента. В связи с этим, бетоны нового поколения является порошково-активированными и в них вводится микрокремнезем, зола, различные природные и техногенные высокодисперсные добавки.

Нами в процессе исследований рассматривался тонкодисперсный материал - барит. Барит отличается высокой химической стойкостью, практически нерастворим в воде, слабых кислотах, щелочах и органических соединениях. Это позволит применить его в рядовых бетонах как в обычном строительстве, так и в конструкции защищающих от радиоактивного излучения.

В проводимых исследованиях применялись следующие исходные материалы: клинкер Вольского цементного завода; природный полевошпатный песок Дмитровского карьера (Мкр=2,1); барит с удельной поверхностью 2100 г/см2, плотностью 4,2 г/см3, массовая доля сернокислого бария 84% (по ГОСТ 56946); базальтовое волокно ОАО «Ивотстекло» (по ТУ 5952-036-05328981); суперпластификатор С-3 завода «Полипласт» (по ТУ 5745-001-97474489); гипс (ГОСТ 4013).

Нами изучалось влияние и базальтового волокна на свойства получаемого в результате помола цемента низкой водопотребности (ЦНВ).

Цементы низкой водопотребности представляют собой довольно известный класс гидравлических вяжущих (ТУ № 5744-002-00369171), отличающихся по составу и способу производства от традиционных вяжущих, получаемых с использованием известных помольных установок, предназначенных для производства цемента. В наших исследованиях использовалась шаровая мельница МШН-2, изготовленная на «Производственном объединении 268» (г. Иваново). Существенное отличие ЦНВ от портландцемента заключается в более высокой дисперсности (4000-5000 см2/г); низкой водопотребности (нормальная густота теста 16-20%) и содержания в оптимальных количествах высокоэффективного модификатора, вводимого при совместном помоле всех составляющих, а также в весьма высокой активности по прочностным характеристикам (например, прочность на осевое сжатие до 120 МПа); повышенные сроки хранения цемента (до 1 года). Особенности производства и результаты исследований свойств ЦНВ изложены в [1, 2].

Достаточно высокий потенциальные возможности ЦНВ позволяют заменить значительное количество клинкерной части различными минеральными добавками (например, строительный песок, доменный гранулированный шлак, зола уноса и др.), содержащими в своём составе преимущественно кремнезём. Это позволяет регулировать в широких пределах процессы схватывания теста, получаемого ЦНВ, что обеспечивает более лучшие формовочные свойства бетонной смеси и конечном итоге требуемые свойства бетонных конструкций и изделий.

Для оценки эффективности использования тонкодисперсной баритовой добавки в технологии бетонов и растворов проведено сравнение барита с натуральными пуццоланами, которые в настоящее время достаточно хорошо изучены. Важнейшим свойством пуццоланов является гидравлическая (пуццолановая) активность (способность химически связывать гидроксид кальция, выделяющийся в процессе гидратации цемента), которая в большинстве исследований была принята за критерий эффективности того или иного вида этих добавок. В настоящее время существуют различные методики определения пуццолановой активности, в некоторых из них критериями оценки являются способность тонкодисперсных добавок поглощать известь из ее насыщенного раствора [6, 9] и относительная прочность образцов на портландцементе с рассматриваемыми добавками [5, 4]. Часть методик включена в стандарты, в которых предусматривается испытание добавок как в смеси с портландцементом, так и с известью. Влияние минеральных добавок на твердение портландцемента проявляется в замедлении сроков схватывания цементного теста. Что касается барита, то опыты, проведенные с ЦНВ, показали, что на сроки схватывания цементного теста эта добавка существенного влияния не оказывает, также и водопотребность теста и растворов, выраженная нормальной густотой (Н.Г.Ц.Т.) и повышение В/Ц очень незначительна.

В мельницу МШН-2 загружались клинкер, гипс, суперпластификатор С-3, баритовый песок и базальтовое волокно размером 15 мм, (3% от массы ЦНВ). Получены следующие результаты:

Н.Г.Ц.Т.: 1) Ц+ 0 % Б (эталон без барита) = 24,0 %; 2) Ц+ 10 % Б = 22,7 %; 3) Ц+ 20 % Б = 22,0 %; 4) Ц+ 30 % Б = 21,3 %; 5) Ц+ 40 % Б = 20,7 %.

Подробная информация о влиянии суперпластификатора на сроки схватывания и кинетику гидратации цементного теста с баритом в литературных источниках не встречается. Проведенные нами исследования показывают, что мелкозернистый бетон с баритом может содержать и повышенные дозировки нафталинформальдегидных суперпластификаторов без нежелательного эффекта замедления схватывания и потери прочности.

Увеличение дисперсности смешанного вяжущего происходит в основном за счет измельчения барита в процессе перемешивания мелкозернистой бетонной смеси как более «мягкого» компонента (твердость – 3,3). Гранулометрия смешанного цементно-баритового вяжущего представлена на рис. 1. Дифференциальное распределение частиц по размерам показывает, что баритовый наполнитель имеет значительное количество наноразмерных частиц (<1 мкм), с которым активно взаимодействует пластификатор.

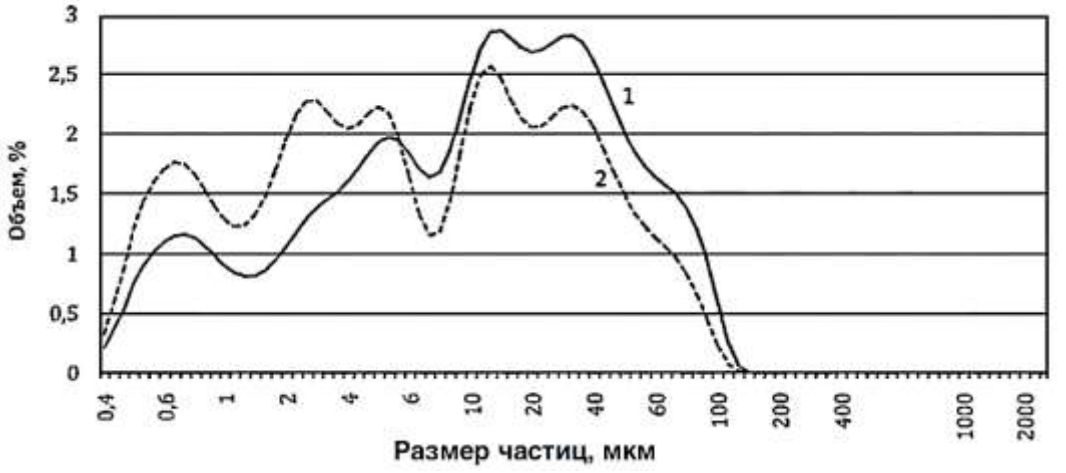


Рис. 1. Гранулометрический состав смешанного цементно-баритового вяжущего: 1 – 20 % Б; 2 – 40 % Б.

Содержание тонкомолотого баритового наполнителя (БН) влияет на плотность ЦБВ вяжущего и камня, увеличивая ее примерно на 10 %. Например, введение 40 % барита в портландцемент повышает плотность до 3,6 г/см3.

Одним из путей решения задач по улучшению эксплуатационных характеристик бетонов является армирования его различными видами неметаллических волокон минерального происхождения, в частности базальтовыми.

В литературе отмечается перспективное использование в бетонах базальтовых волокон в качестве дисперсной арматуры [10, 7, 3], исследование которых выполнялось различными зарубежными и отечественными учеными лаборатории базальтовых волокон (ЛБВ) Института материаловедения АН Украины, НИИЖБ, ЦНИИПромзданий, ЛатНИИстроительства, АрмНИИС и др. Показана принципиальная возможность применения базальтовых волокон для улучшения эксплуатационных и физико-механических свойств бетона. Однако отсутствие технологических решений, направленных на получение базальтофибробетона (БФБ) с нормируемыми физико-механическими характеристиками, данных по оценке долговечности, нормативных и руководящих материалов для проектирования и неоднозначность результатов исследований по коррозионной стойкости базальтового волокна создают препятствия для широкого внедрения этого материала в строительство.

Структура цементного камня и бетона в присутствии пуццолановых добавок имеет ряд особенностей. В отличие от обычного цементного камня, который характеризуется наличием макропор и микротрещин в зоне контакта с заполнителями, в исследуемом преобладают мелкие поры, а в контактной зоне - меньше микротрещин, что способствует повышению прочности и долговечности мелкозернистого бетона [3]. Механизм, по которому происходит улучшение структуры пор в гидратированных пуццолановых цементах, еще не полностью раскрыт. Повышение плотности структуры гидратированного цементного камня на портландцементе с баритом может быть объяснено более мелкопористой структурой по сравнению с новообразованиями гидратирующегося портландцемента. Структура порового пространства цементного камня и раствора с баритом изучалась с применением методов водопоглощения, ртутной низкотемпературной калориметрии. На основании исследований выявлено, что увеличение дозировки барита приводит к получению более мелкопористой структуры. Исследования показали, что для цементного камня, в котором присутствует барит, при постоянном содержании воды снижается общая капиллярная пористость, диаметр капилляров значительно уменьшился (рис. 2).



Рис. 2. Распределение пор по размерам в цементном камне без (1) и с (2) баритовой добавкой.

Прочность смешанного ЦНВ определяли по ГОСТ 310.4-81. Соотношение между цементом и песком составляло 1:3. Из каждой серии испытывали, в назначенные сроки, по 6 образцов и вычисляли среднее арифметическое полученных показателей. Результаты представлены в табл. 1.

Таким образом, из приведенных в таблице данных следует:

1. Добавка барита существенно не влияет на водопотребность цементно-песчаного раствора.
2. Консистенция ЦНВ при увеличении расхода баритового наполнителя улучшается, раствор приобретает улучшенные вязкопластичные свойства.
3. Улучшение вязкопластичных свойств раствора, косвенно подтверждает химическую стойкость барита и нерастворимость его в воде.
4. Применения при помоле базальтового волокна существенно повышает прочностные характеристики.
5. Исследуемые составы ЦНВ могут быть применены в различных спецсооружениях двойного назначения.

Таблица 1

Прочность ЦНВ с включением барита и базальтового волокна

№ п/п	Барит кг/%	В/ЦНВ	Прочность (МПа) в возрасте (сут)					
			3 суток		7 суток		28 суток	
			$R_{сж}$	$R_{и}$	$R_{сж}$	$R_{и}$	$R_{сж}$	$R_{и}$
1		0,39	23,4	5,7	36,1	6,4	56,3	7,3
2*	52/10	0,32	28,3	6,5	48,2	7,6	68,8	8,9
3*	104/20	0,30	29,7	6,9	47,4	8,1	69,9	9,3
4*	156/30	0,28	30,4	7,1	49,6	8,9	72,8	9,5
5*	208/40	0,28	32,4	7,3	50,5	8,3	72,1	9,2

Примечание*: расход базальтового волокна составляет 3% от общей массы.

Список использованных источников

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 392 с.
2. Бабаев Ш.Т. Высокопрочные бетоны на основе цементов низкой водопотребности. Промышленность строительных материалов. Серия 3 ВНИИЭСМ М. 1990, вып. 4, с. 16-30.
3. Волков И.В., Разин Э.М. Фибровая арматура для бетонов // Труды 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона. — М.,2001. с. 1171-1179.
4. Добавка в бетон / Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Колепарди М. и др. - М: Стройиздат, 1988, с. 260-295.
5. Метод определения активности минеральных добавок в цементах/ Гольфштейн Л.Я., Белохвосткова О.А., Гейдарова Л.С., Ермаков Г.Ф./ Цемент - 1998 №12 - с.7-10.

6. Определение гидравлической активности заполнителя на коррозию арматуры/ Степанова В.Ф., Курбатова И.И., Абрамкина В.Г., Харитонова Л.П./ Бетон и железобетон. - 1989. - №8 с.21.
7. Рабинович Ф.Н., Зуева В.Н., Макеева Л.В. Устойчивость базальтовых волокон в среде гидратирующихся цементов // Стекло и керамика. 2001. -№12 — С.12-14.
8. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. М., 1958, с.75
9. Руководство по обеспечению сохранности арматуры в конструкциях их бетона на пористых заполнителях в агрессивных средах. М. НИИЖБ, -1979 -29 с.
10. Velde K., Kiekens P., Van Langenhove L. Basalt fibers as reinforcement fort 1composites// Van de Department of Textiles, Ghent University, Technologiepark 907, B-9052 Zwijnaarde, Belgium.

УДК 66.017.4:666.94.016.2
67.09.05: Общая характеристика и классификация строительных материалов и изделий. Материаловедение

УПРАВЛЕНИЕ КИНЕТИКОЙ РАННЕГО СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Славчева Галина Станиславовна,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»
E-mail: gslavcheva@yandex.ru

Артамонова Ольга Владимировна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Химии и химической технологии материалов»
E-mail: ol_artam@rambler.ru

Шведова Мария Александровна
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Химии и химической технологии материалов»
E-mail: marishwedowa@mail.ru

В работе рассмотрено влияние видов и дозировок комплексных добавок на раннее структурообразование и прочностные характеристики цементных композитов, вводимых с целью обеспечения сохранности технологических свойств цементных смесей для 3D-печати. Актуальность проблемы заключается в обеспечении качества конструкций, получаемых методом экструзионной безопалубочной 3D-печати, для которых необходимо одновременно обеспечить требования к реологическим и кинетическим свойствам цементных смесей в ранний период твердения. Цель работы состояла в оптимизации видов и дозировок комплексных химических добавок по критерию сохранности технологических свойств цементных смесей для 3D-печати (не менее 30 мин) на основе изучения кинетики раннего структурообразования и твердения.

Исследовано два вида цементных композитов: микрозернистые (наполнитель – известняковая мука) и мелкозернистые (мелкий заполнитель – кварцевый песок). При получении вязко-пластичных смесей массовые соотношения составляли Ц : ИМ = 1 : 1, Ц : П = 1 : 1.25. В качестве комплексных добавок использовали неорганические и органические соли в сочетании с порошкообразным суперпластификатором (СП) марки Pulmix 4033, на основе поликарбоксилатных эфиров (с массовой долей 0.4 % от массы цемента). Применяли 4 вида солей: $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$, $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ в дозировке 0.05 и 0.1 % (от массы цемента); стеарат кальция ($C_{17}H_{35}COOCa$) в дозировке 5 и 10 % (от массы цемента). Эффект влияния данных солей на процессы гидратации цемента и структурообразования цементной матрицы определяется тем, что они блокируют поверхность клинкерных минералов, тормозят их гидролиз и процесс выщелачивания в жидкую фазу ионов кальция. В/Ц-отношение в системах подбиралось индивидуально для каждой добавки, на основании контроля показателей технологических характеристик смесей.

Цементные композиционные смеси получали путем перемешивания в течение 3 мин в лопастном смесителе сухих компонентов (цемент + песок или цемент + известняковая мука) с водой затворения, в которой предварительно растворяли необходимое количество добавки.

В исследовании кинетику раннего структурообразования цементных композитов оценивали через показатель пластической прочности смеси, фазовый состав образцов определяли методом рентгеновской ди-

фрактометрии, также в 1 и 28 сутки контролировали их прочность на сжатие. Кинетика изменения пластической прочности от времени может быть описана формально – кинетическим уравнением [1]:

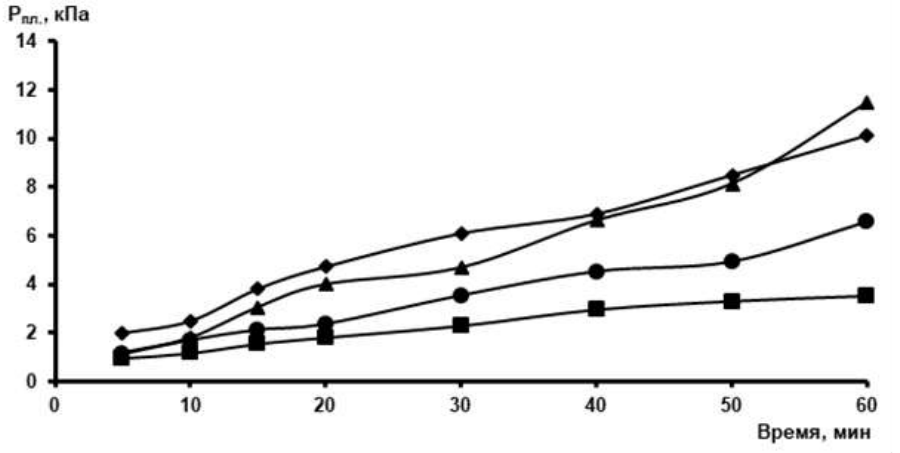
$$P_{пл} = (k \cdot \tau)^n \quad (1)$$

где $P_{пл}$ – пластическая прочность системы, кПа, τ – время схватывания, мин., k – константа скорости формирования новообразований, кПа$^{1/n}$·мин$^{-1}$, которая не относится к какой-либо элементарной стадии; n – показатель степени уравнения, являющийся отражением смены определяющих процессов структурообразования.

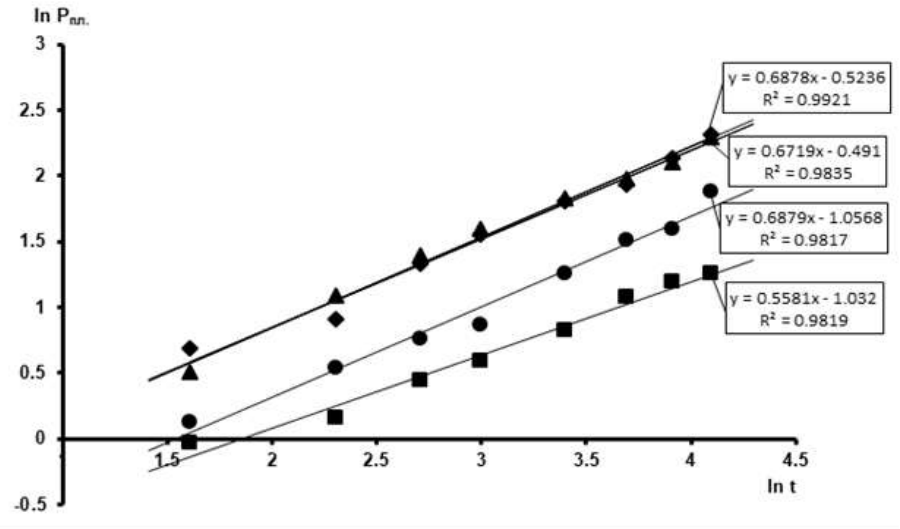
Обработку кинетических результатов в общем случае проводили логарифмированием зависимости (1), и получением уравнения вида

$$\ln(P_{пл}) = n \cdot \ln(k) + n \cdot \ln(\tau) \quad (2)$$

Зависимость пластической прочности от времени представляли в двойных логарифмических координатах (рисунок 1, 2). Методом наименьших квадратов рассчитывали значение n для каждой из исследуемых систем.



а



б

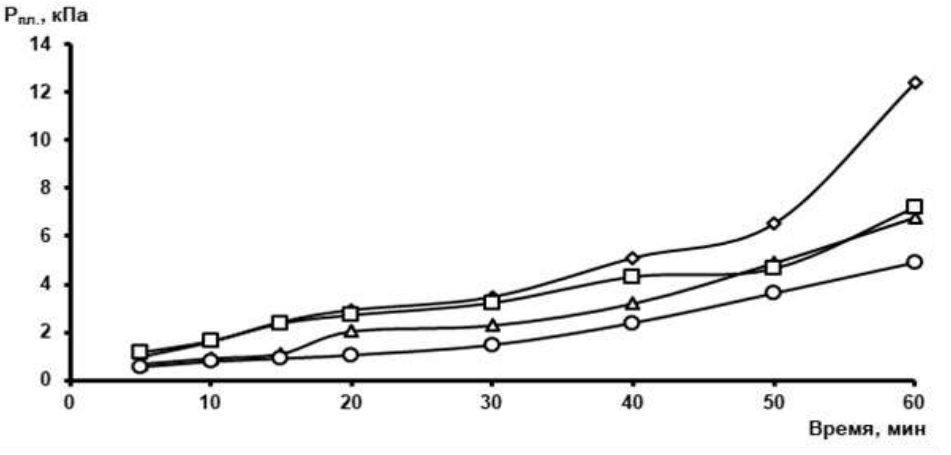
Рисунок 1 – Кинетические кривые пластической прочности от времени исследуемых мелкозернистых систем. Обозначено: ♦ – Ц – П(э); ● – Ц – П – $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (0.05 %); ▲ – Ц – П – $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ (0.05 %); ■ – Ц – П– $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$ (10 %)

На основании анализа кинетики набора пластической прочности установлено, что начало схватывания модифицированных смесей зависит и от вида используемой матрицы, и от вида и дозировки добавки-замедлителя (рисунок 1, 2). При этом нарастание пластической прочности в среднее время (30 минут) выше у мелкозернистой матрицы (эталон с песком $P_{пл}$ = 6.09 кПа), чем у микрозернистой матрицы (эталон с известняковой мукой $P_{пл}$ = 3.49). Наиболее эффективными замедлителями для мелкозернистой матрицы (песок) являются добавки $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ и $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$ в дозировке 0.05 % и 5 %,

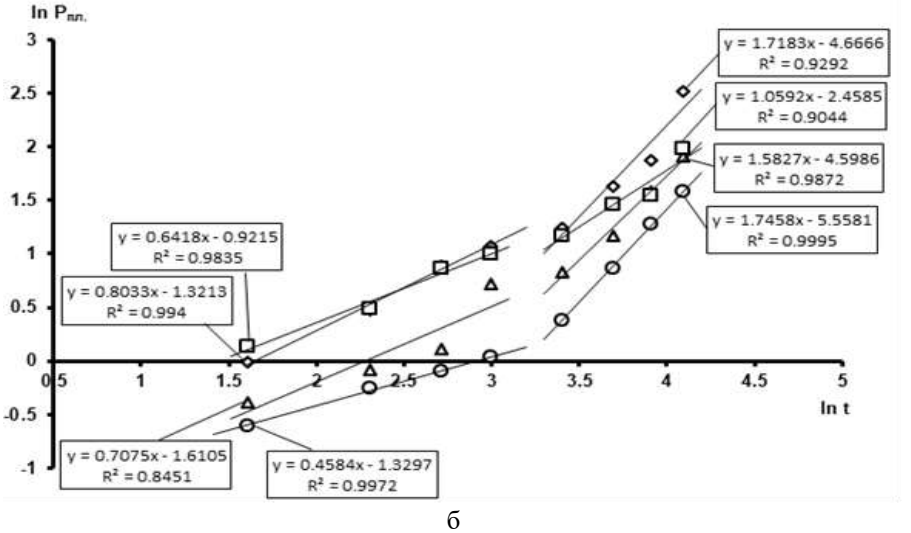
соответственно от массы цемента; для микрозернистой матрицы (известняковая мука) – $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ и $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ в дозировке 0.05 % от массы цемента. Стоит отметить, что с обеими матрицами максимально эффективно работает добавка $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ в дозировке 0.05 %, данная добавка-замедлитель увеличивает индукционный период твердения цементной смеси.

Проведенные расчеты кинетических показателей данных процессов показали различия в механизмах протекания начала формирования структуры.

Для систем с мелкозернистой матрицей показатель степени кинетического уравнения процесса лежит в диапазоне 0.56 – 0.88, что соответствует диффузионному определяющему процессу, с контролирующей стадией гидратации зерен цемента, которая зависит от скорости диффузии воды к зернам цемента. При этом на всем протяжении времени (от 0 до 60 минут) не наблюдается смены определяющего процесса, что очевидно связано с химической инертностью мелкозернистой матрицы.



а

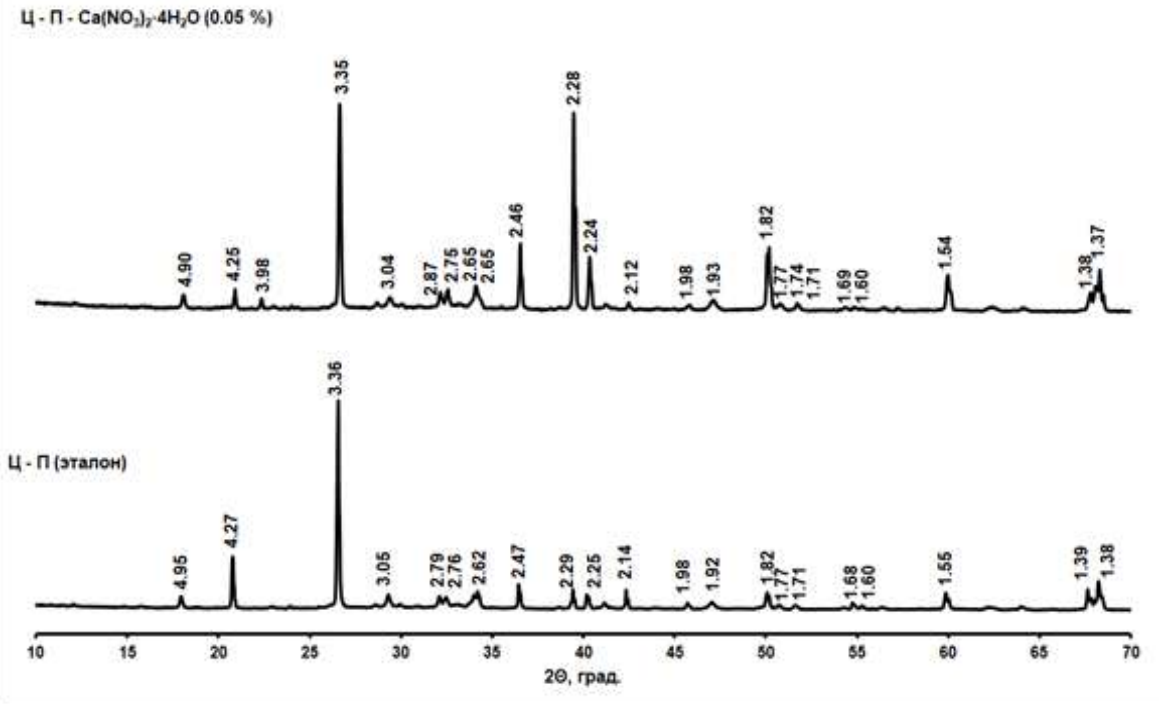


б

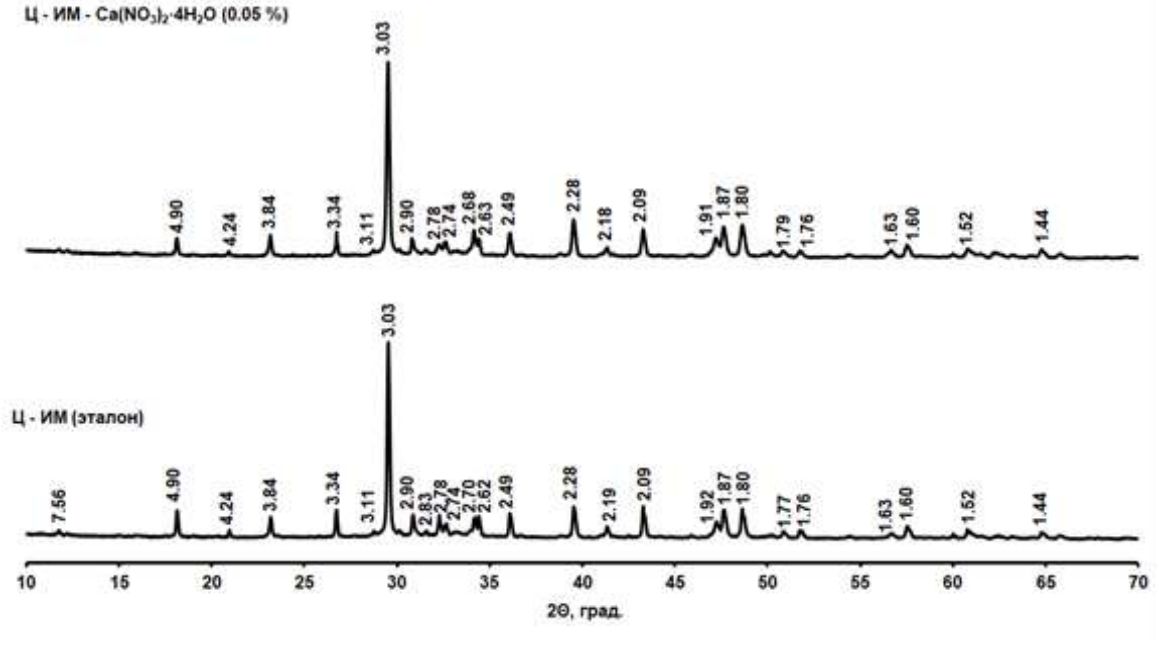
Рисунок 2 – Кинетические кривые пластической прочности от времени исследуемых микрозернистых систем. Обозначено: ◊ – Ц – ИМ (э); ○ – Ц – ИМ – $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (0.05 %); Δ – Ц – ИМ – $Na_3PO_4 \cdot 12 H_2O$ 0.05 %; □ – Ц – ИМ – $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$ (5 %)

Для систем с микрозернистой матрицей показатель степени кинетического уравнения процесса резко меняется через 30 минут от начала затворения смеси водой. В период от 0 до 30 минут он лежит в интервале от 0.46 до 1.37, что также соответствует диффузионному определяющему процессу, а в период от 30 до 60 минут показатель степени существенно увеличивается и лежит в интервале от 0.88 до 1.75, что соответствует протеканию химической реакции. Причем, резкая смена определяющего процесса с диффузионного на химическую реакцию, наблюдается именно у добавок, которые проявляют максимальное замедление процесса схватывания. Так для систем, модифицированных $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ в дозировке 0.05 %, показатель n меняется с 0.46 на 1.75; $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ в дозировке 0.05 %, показатель n

меняется с 0.70 на 1.58. Можно предположить, что процесс замедления схватывания обусловлен адсорбцией соответствующих ионов на исходных негидратированных клинкерных минералах цемента, а также на продуктах первичной гидратации (так как известняковая мука, более химически активна, чем песок), что затрудняет диффузию воды к зернам цемента. Однако, в какой-то момент времени, при накоплении достаточного количества разноименных ионов этот процесс резко меняется, и определяющим становиться химическое взаимодействие между ионами.



а



б

Рисунок 3 – Дифрактограммы модифицированных цементных композитов. Обозначено: SiO_2 (d = 4.25, 3.35, 2.45, 1.82, 1.54, 1.38); $CaCO_3$ (d = 3.85, 3.03, 2.28, 2.09, 1.91, 1.87); $(CaO)_x \cdot SiO_2 \cdot zH_2O$ (d = 4.92, 3.05, 2.93, 2.80, 2.31, 1.83); $2CaO \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$ (d = 4.24, 3.84, 3.36, 3.15, 2.85, 2.65); $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ (d = 3.04, 2.84, 2.70, 1.90, 1.80, 1.66); $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ (d = 3.36, 2.81, 2.30, 2.04, 1.74, 1.68); $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$ (d = 7.57, 3.78, 2.86, 2.52, 2.49, 1.94, 1.82); $Ca(OH)_2$ (d = 4.93, 3.11, 2.63, 1.93, 1.79, 1.69); $3CaO \cdot SiO_2$ (d = 4.93, 3.11, 2.63, 1.93, 1.79)

Таким образом, время работоспособности смесей, соответствующее их способности к пластическому деформированию, отсутствию схватывания составляет для не модифицированных систем 25 мин, для модифицированных – 40 мин.

Полученные данные хорошо коррелируют с результатами рентгенодифрактометрических исследований (дифрактометр ARL X'TRA, излучение CuKα, λ = 1.541788 Å), представленных на рисунке 3. Обработку первичных результатов осуществляли с помощью программного комплекса PDWin 4.0 [2].

Для рентгенодифрактометрических исследований были выбраны четыре системы, где в качестве добавки использовали нитрат кальция в дозировке 0.05 %, т.к. для двух исследованных типов матриц он отличается наибольшей эффективностью по критерию работоспособности. Анализ экспериментальных результатов показывает, что вид микронаполнителя (инертный – кварцевый песок и химически активный – карбонат кальция) оказывает качественно более сильное влияние на фазовый состав новообразований, чем добавка нитрата кальция $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, которая действует преимущественно как регулятор процесса гидратации цемента.

Сравнительный анализ фазового состава систем с кварцевым песком позволил установить, что основная фаза кварц (SiO_2) является инертным наполнителем, не участвует в химических реакциях гидратации. Основное новообразование (в эталонной системе): кремнеземистый гидрогранат (C-S-H типа II), идентифицируемое как $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ (CSH(II)) – это основной продукт гидратации силикатных фаз цемента ($3CaO \cdot SiO_2$ (C_3S), $2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S)), обеспечивающий прочность цементного камня. Добавка $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ меняет соотношение и, возможно, тип формирующихся силикатных гидратов. Появляется фаза $2CaO \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$ (C_2S_3H)**,** что может указывать на более высокое отношение CaO/SiO_2 в формирующемся C-S-H геле или на ускоренное образование конкретной кристаллической модификации. Интенсивность пика гидроалюмината кальция ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$, C_3AH_6) при 2Θ = 39.45 ° резко возрастает в модифицированной системе (с 11 % до 96 % отн. ед. инт.), что является ключевым наблюдением. Также в обоих образцах присутствуют остаточные фазы: алит (C_3S) – не прореагировавшая клинкерная фаза, небольшое количество C_3AH_6 в эталонной системе (Ц – П).

Сравнительный анализ фазового состава систем с известняковой мукой позволил установить, что основной фазой в данных системах является карбонат кальция ($CaCO_3$), и это химически активный микронаполнитель. Поэтому основные новообразования в этих системах идентифицируются как $(CaO)_x \cdot SiO_2 \cdot zH_2O$ и гидросиликат кальция $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ (CSH(II)). Это указывает на совместное осаждение продуктов гидратации силикатов и карбонатов. В модифицированной системе появляется также $CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ (CSH(I))**,** $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$ что свидетельствует об изменении соотношения Ca/Si в геле. Остаточные фазы в виде портландита ($Ca(OH)_2$) и алита (C_3S) имеются в обеих системах. Присутствие $Ca(OH)_2$ может говорить о протекании гидратации силикатов в данных системах.

Таким образом, изучение процессов раннего структурообразования модифицированных цементных композитов показало, что происходит замедление процесса гидратации цемента и формирование конденсационно-кристаллизационной структуры за счет изменения в системе количества центров зародышеобразования. Это приводит к уменьшению консолидированных надмолекулярных структур силиката кальция, которые структурируют цементную матрицу, чем объясняется уменьшение прочности на сжатие данных систем по сравнению с эталонными (таблица 1). Установлено, что добавка $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ в дозировке 0.05 % от массы цемента является наиболее эффективным модификатором структурообразования по критериям сохранности технологических свойств при печати (не менее 30 мин) и обеспечению прочностных характеристик.

Таблица 1

Основные характеристики цементных смесей

№	Система	В/Ц	ω соли, %	$P_{пл}$, кПа (30 мин)	$R_{сж}$, МПа	
					1 сут	28 сут
1	Ц – П	0.35	-	6.09	24.54	48.12
2	Ц – П – $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	0.36	0.05	3.54	26.51	46.80
3	Ц – П – $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	0.37	0.10	3.84	25.59	45.15
4	Ц – П – $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$	0.35	0.05	7.21	18.88	48.09
5	Ц – П–$Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$	0.35	0.10	8.38	15.07	45.16
6	Ц – П – $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	0.36	0.05	6.26	27.21	48.80
7	Ц – П – $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	0.36	0.10	4.69	24.04	53.04
8	Ц – П– $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$	0.35	5	3.20	16.49	36.71
9	Ц – П– $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$	0.40	10	2.30	11.58	20.86

10	Ц – ИМ	0.41	-	3.49	21.76	47.48
11	Ц – ИМ – $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	0.44	0.05	1.47	19.05	48.02
12	Ц – ИМ – $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	0.45	0.10	5.66	16.95	42.84
13	Ц – ИМ – $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$	0.41	0.05	-	-	-
14	Ц – ИМ – $Na_2SiO_3 \cdot 5H_2O$	0.41	0.10	7.38	30.91	71.33
15	Ц – ИМ– $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	0.43	0.05	2.29	21.60	40.57
16	Ц – ИМ – $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	0.44	0.10	5.25	20.25	44.45
17	Ц – ИМ –$(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$	0.44	5	3.23	19.49	47.62
18	Ц – ИМ – $(C_{17}H_{35}COO)_2Ca$	0.47	10	3.55	11.19	30.40

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках темы государственного задания (проект FZGM-2026-0003).

Список использованных источников

1. Bullard, J. W. Mechanisms of Cement Hydration / J. W Bullard., H. M. Jennings, R. A. Livingston // Cement and Concrete Research. – 2011. – V. 41. – Pp. 1208–1223.

2. JCPDS – International Centre for Diffraction Data. © 1987 – 1995. JCPDS – ICDD. Newtown Square, PA. 19073. USA. Режим доступа: https://www.icdd.com/

УДК 666.97
67.09.33: Бетоны. Железобетон. Строительные растворы, смеси, составы

КРИТЕРИИ ПОДБОРА ЦЕМЕНТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

Харитонов Алексей Михайлович,
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительных материалов и метрологии, e-mail: peepdv@mail.ru

Малащенко Евгения Владимировна,
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, аспирант, e-mail: jeniamal@yandex.ru

Реферат. В работе выполнен обзор существующих критериев качества смесей для трехмерной печати, предлагаемых учеными в России и за рубежом. Определено, что наиболее эффективные критерии подбора составов для печати должны быть основаны на методах оценки реологических параметров образцов, приближенных по своим способу изготовления, геометрии и методу испытания к реальной 3D-печатной продукции.

Ключевые слова: 3D-печать бетоном, аддитивные технологии, реологические свойства, индекс тиксотропности, экструдируемость, формоустойчивость, структурная прочность, пластическая прочность, пластичность, относительное удлинение при разрыве, ротационный реометр.

Keywords: 3D printing with concrete, additive technologies, rheological properties, thixotropy index, extrudability, dimensional stability, structural strength, plastic strength, plasticity, elongation at break, rotary rheometer.

При трехмерной печати цементными составами основными параметрами, определяющими качество получаемых изделий, принято считать такие свойства печатной смеси, как пластичность и формоустойчивость, обеспечивающие бездефектное производство, соответствие печатных изделий ожидаемым геометрическим параметрам, а материала – требуемым прочности и долговечности.

Экструдируемость – способность печатной смеси подвергаться формованию с постоянной скоростью методом экструзии без разрушений структуры материала.

В работах Г.С. Славчевой [5, 6] для оценки экструдируемости используется сдавливающий тест с постоянной скоростью деформирования 5 мм/с. Метод заключается в сжатии между двумя пластинами, неподвижной и вращающейся, с постоянной скоростью свежеотформованного цилиндрического образца постоянной геометрии (контролируется радиус и высота). По результатам испытания фиксируется

величина пластических деформаций $\Delta_{пл}$ в момент начала трещинообразования, определяется предел пластичности $K_i(I)$ – критерий, показывающий сжимающую нагрузку, при которой радиальное касательное напряжение, возникающее в испытываемом материале, приводит к трещинообразованию и разрушению внешней части образца. Напряжение $\sigma_{пл}$, при котором происходит разрушение, в [5] называют пластической прочностью, характеризующей способность системы деформироваться без разрушения. Теоретические основы метода, результаты изучения влияния на экспериментальные данные скорости сжатия, высоты и радиуса образца, шероховатости пластин описаны в работе французских ученых [8].

Формоустойчивость – способность экструдированного материала сохранять приданную ему при укладке исходную геометрию под воздействием внешних факторов (динамические и вибрационные воздействия принтера и т.п.), нагрузок от собственного веса и от массы последующих печатных слоев.

В работе [5] предлагается оценивать формоустойчивость через 10 минут после формования образца при постоянной скорости нагружения 0,5 Н/с, соответствующей средней скорости увеличения нагрузки при печати строительными принтерами. Испытания выполняются до разрушения, с определением структурной прочности образца σ_0 – напряжения, соответствующего предельному сопротивлению образца деформированию при нагружении.

В работе [10] критерием оценки формоустойчивости является предел текучести при сдвиге, определяемый при лопаточном испытании. Принцип испытания лопаткой (или ножницами) заключается в сдвиге путем приложения крутящего момента до тех пор, пока он не вызовет течение или разрыв материала образца. Стандартная методика испытания на сдвиг лопасти приводится в работе [9], однако она требует большого объема смеси для испытания. В качестве аналога применительно к 3D-растворам и бетонам применяется метод карманной сдвиговой лопатки (рисунок 1).

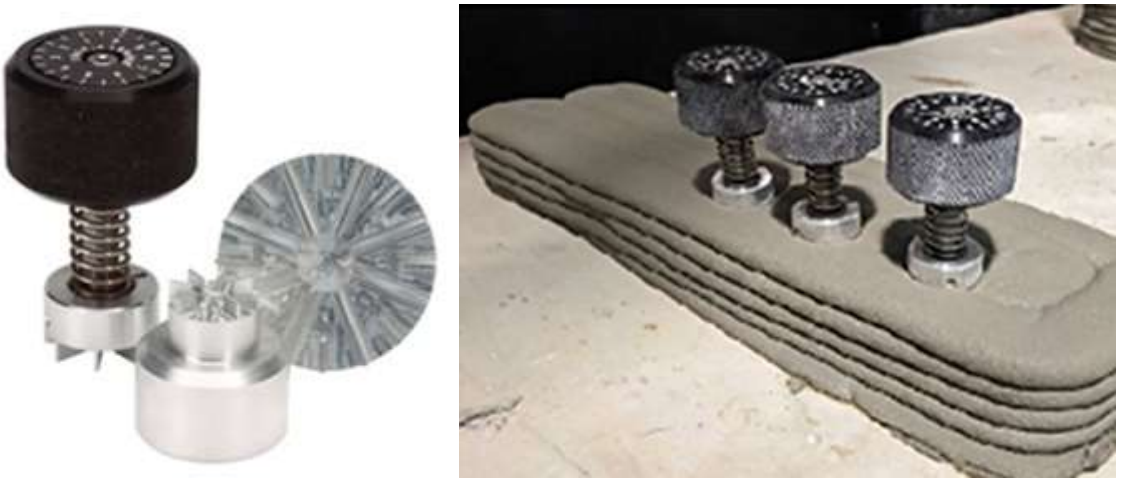


Рисунок 1 – Карманная сдвиговая лопатка Humboldt H-4212MH [7], испытание на сдвиг в режиме реального времени

Мухаметрахимов Р.Х. [4] для оценки формоустойчивости свежих печатных слоев предлагает критерий скорости набора пластической прочности во времени. Высокий показатель данного параметра позволяет обеспечить печать изделий большой высоты без технологических перерывов и рисков потери устойчивости, деформирования материала изделия.

Пластичность – способность материала деформироваться без потери сплошности. Данное свойство является ключевым как на этапе экструдирования, так и по завершении этапа формования до момента схватывания материала: при выдавливании и дальнейшем растягивающем воздействии двигающейся печатающей головки принтера структура свежеотформованного слоя не должна разрушаться.

В работах [5, 6] представлены способы оценки пластичности смесей для трехмерной печати по показателям предела пластичности Ki(I), пластической прочности $\sigma_{пл}$, относительных пластических деформаций $\Delta_{пл}$ в момент разрушения структуры образца. Данные характеристики, полученные для свежеотформованных тестовых проб, позволяют косвенно оценить качество смесей, пригодных для трехмерной печати, однако не в полной мере отражают динамику и тип формования реальных печатных объектов.

В работе [1] предложен метод измерения пластичности свежеотформованной «печатной нити», полученной экструзией бетонной смеси на строительном принтере Лерто [2]. Пластичность оценивалась по косвенной характеристике ε – относительному удлинению образца до появления разрыва. Преимуществом метода является то, что образец для испытания изготавливался методом экструзии печатающей головкой принтера: структура и форма образца соответствуют реальному печатному слою (рисунок 1).

Кроме этого, испытание, заключающееся в поступательном натяжении эластичной ленты испытательной установки, воспроизводило воздействие двигающегося экструдера на свежий печатный слой (растягивающее усилие). Это позволило получить характеристику относительного удлинения, наиболее точно описывающую поведение свежего печатного слоя под нагрузкой.



Рисунок 2 – Общий вид установки для определения относительного удлинения 3D-печатного образца [1]

Для полученной характеристики относительного удлинения при разрыве образца в [1] была установлена связь с показателем индекса тиксотропности *n*, определяемом лабораторными испытаниями на высокоточном ротационном реометре [3]. Получен критерий качества смеси – индекс тиксотропности, который может быть использован для объективного подбора пригодной для трехмерной печати смеси.

Кроме этого, немаловажным фактором, влияющим на параметры печатной смеси, является эволюция материала. Существующие методы оценки ключевых показателей качества печатного материала не позволяют с высокой точностью определить его характеристики в каждый момент времени – от начала экструдирования до окончания процесса структурообразования. В статье [10] предлагаются методы оперативной оценки и взаимоувязывания параметров смеси на этапах перемешивания, экструзии, структурообразования при нанесении последующих слоев, схватывания и твердения. Также в [10] говорится о преимуществах определения параметров печатной смеси непосредственно «в потоке», т.е. непрерывно в процессе печати. В числе прочих предлагается метод лазерного сканирования для определения однородности смеси, позволяющий выявить микродефекты печати, потерю сплошности образца. Следует отметить, что данные методы имеют существенные технические ограничения с точки зрения их реализации.

Таким образом, к настоящему времени предложено несколько количественных критериев оценки качества материалов применительно к трехмерной печати, таких как экструдируемость, формуемость, пластичность. Данные критерии в основном базируются на косвенной оценке реологических и технологических характеристик. На наш взгляд, более информативными являются критерии, основанные на следующих принципах измерения:

1. Определение реологии смесей в процессе экструзии при печати [1].
2. Исследование характеристик материала, полученного в результате печати: дискретная или непрерывная оценка качества структуры материала непосредственно в изделии [10].

Развитие в указанном направлении видится за счет следующих исследований:

1. Формирование представительной выборки результатов определения реологических и физико-механических характеристик материалов при печати, отличающихся способом модификации ключевых параметров.
2. Установление взаимосвязи результатов натурных испытаний в процессе печати с реологическими характеристиками, определенными с использованием аналитического оборудования.
3. Определение критериев качества смесей для трехмерной печати на основе сопоставления реологических свойств смесей и физико-механических свойств затвердевшего материала.

Список использованных источников

1. К вопросу о критериях подбора цементных составов для 3D-принтеров с системой сухой подачи / А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина, Е.В. Малащенко // Цемент и его применение, № 1, 2026.
2. Лерто. Доступно по адресу: https://lerto.ru/3dprinter/ (дата обращения: 01.05.26) (рус.)
3. Модульные компактные реометры MCR 303/503/503. Доступно по адресу: Power https://paar.ru/products/laboratornoe-oborudovanie/reometry/modulnye-kompaktnye-reometry-mcr-303-503-503-power/ (дата обращения: 01.05.26) (рус.)
4. Мухаметрахимов, Р. Х. Научные и технологические основы управления структурой и свойствами бетонов, формуемых методом аддитивного строительного производства: дис. д-ра техн. наук: 05.23.05 / Мухаметрахимов Рустем Ханифович. — Казань, 2021. — 405 с.
5. Оценка экструдируемости и формоустойчивости модифицированных цементных смесей для строительной 3D-печати / Г. С. Славчева, О. В. Артамонова, Д. С. Бабенко [и др.] // Современные проблемы строительства: Коллективная монография. – Санкт-Петербург - Калининград: Русская христианская гуманитарная академия им. Ф.М. Достоевского, 2025. – С. 21-32. – EDN JYDULA.
6. Славчева, Г.С. Влияние дозировки и гранулометрии наполнителей на показатели экструдируемости смесей для 3D-печати / Г.С. Славчева, Е.А. Бритвина, М.А. Шведова, П.Ю. Юров // Строительные материалы. 2022. - № 1–2. - С. 21–29
7. L. Demont, R. Mesnil, N. Ducoulombier, J.-F. Caron, Affordable inline structuration measurements of printable mortar with a pocket shear vane, Constr. Build. Mater. 408 (2023) 133602, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133602.
8. Russel, N. Plastic Fluid Flow Parameters Identification Using a Simple queezing Test. / N. Russel, C. Lanos // Applied Rheology. – 2003. – V. 13. – No. 3. – P. 3 – 5. DOI: 10.1515/arh-2003-0009.
9. S. Austin, P.J. Robins, C. Goodier, Workability, Shear Strength and Build of WetProcess Sprayed Mortars, in. https://api.semanticscholar.org/Corpus ID:55317708, 1999.
10. Wolfs, R. et al. On-Line and In-Line Quality Assessment across all Scale Levels of 3D Concrete Printing (submitted), (n.d.).

УДК 625.85:691.16
67.15.49 Производство материалов на основе органических вяжущих. Производство асфальтобетона

ЗАВИСИМОСТЬ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУШНЫХ ПУСТОТ ОТ СОДЕРЖАНИЯ БИТУМА В АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Чурсин Егор Викторович
ФГБОУ ВО "Тамбовский Государственный Технический университет", аспирант
e-mail: chursin019@mail.ru

Аннотация. В статье представлена зависимость количества воздушных пустот в асфальтобетонной смеси от содержания битума. Целью работы является отображение значимости органического вяжущего в лице битума, а также определение пределов, в которых его необходимо вводить в состав, чтобы не ухудшить свойства асфальтобетона и в целом его качество. На основании проделанных в лаборатории опытов были получены результаты содержания воздушных пустот при различной дозировке битума в составе.

Ключевые слова. Асфальтобетон, вяжущее, битум, воздушные пустоты, объемная плотность, максимальная плотность.

В современных условиях повышение эксплуатационной надежности дорожных покрытий является одной из приоритетных задач транспортного строительства. Долговечность асфальтобетонного полотна в значительной степени определяется качеством исходных компонентов, среди которых ключевую роль играет органическое вяжущее — нефтяной дорожный битум. Выполняя функцию связующего звена, битум объединяет инертные минеральные материалы в единую монолитную структуру, формируя асфальтобетонную смесь с заданными физико-механическими свойствами [1, 2].

Оптимизация содержания вяжущего в составе смеси является критически важным этапом проектирования. Как избыточное, так и недостаточное количество битума ведет к существенному изменению структуры материала, что в первую очередь отражается на показателе содержания воздушных пустот.

Данный параметр является определяющим для оценки потенциальной водостойкости и морозостойкости покрытия, так как он характеризует интенсивность фильтрации влаги вглубь структуры материала и его способность сопротивляться внешним агрессивным воздействиям [5, 7].

С целью установления точной количественной взаимосвязи между дозировкой вяжущего и пористостью материала были проведены лабораторные исследования. Экспериментальная часть работы основывалась на изготовлении ручных замесов с применением единой рецептуры минеральной части, но при варьируемом процентном содержании битума. Это позволило изолировать влияние фактора содержания вяжущего на формирование объема воздушных пустот в уплотненном асфальтобетоне [3, 6].

Методика экспериментального исследования

Для исследования влияния дозировки битума на структуру асфальтобетона в лабораторных условиях были подготовлены серии образцов смеси типа А16Вн. Рецептура минеральной части была зафиксирована как константа, варьировалось только количество вводимого битума марки БНД 70/100 (от 4,5% до 5,5%).

Для приготовления смесей использовался узкофракционированный гранитный щебень и дробленый песок (табл.1), соответствующие требованиям по дробимости и истираемости для тяжелых условий эксплуатации. В качестве минерального порошка применялся неактивированный известняковый порошок.

Дозировка вяжущего (БНД 70/100) осуществлялась методом "сверх 100%", то есть процентное содержание битума рассчитывалось от общей массы минеральной части, принятой за единицу. Температура нагрева битума при замесе составляла 150–160°С, а минеральных материалов — 160–170°С, что обеспечивало оптимальную вязкость для обволакивания зерен заполнителя.

Таблица 1

Состав минеральной части исследуемой смеси (А16Вн)

Наименование компонента	Ед. изм.	Значение
Фракция щебня 16-22 мм	%	7,5
Фракция щебня 12-16 мм	%	15,0
Фракция щебня 8-12 мм	%	15,2
Фракция щебня 4-8 мм	%	19,4
Фракция песка (отсева) 0-4 мм	%	36,9
Минеральный порошок	%	6,0
Итого минеральная часть	%	100,0

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 58406.2-2020. Смесь уплотнялась методом Маршалла (по 50 ударов с каждой стороны), что соответствует стандартным условиям эксплуатации для данного типа смесей [8]. Уплотнение производили автоматическим компактором Маршалла B035-01NGO, рис.1. При этом в работе учитывались разработанные ранее математические модели процессов уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды [15].



Рисунок 1. Автоматический компактор Маршалла B035-01NGO

Для определения объемной плотности ($\rho_{об}$) использовался метод гидростатического взвешивания. Образцы взвешивались на воздухе (m_1), затем в воде (m_3) и после 4-минутного водонасыщения — на воздухе (m_2). Расчет производился по формуле:

$$\rho_{об}=(m_1/(m_2-m_3))\cdot 0{,}997, \quad (1)$$

где: m_1 — масса тары с асфальтобетонной смесью на воздухе, г; m_2 — масса тары с асфальтобетонной смесью в воде, г; m_3 — масса пустой тары в воде, г.

Максимальная плотность ($\rho_{макс}$) определялась вакуумным методом на электромагнитном виброгрохоте, рис.2. Навеска массой 2,5 кг подвергалась вибрации в вакууме в течение 15 минут для удаления защемленного воздуха [4, 6].



Рисунок 2. Виброгрохот электромагнитный А 059-02 KIT

Расчет максимальной плотности смеси ($\rho_{макс}$) производился по формуле:

$$\rho_{макс}=[(m_1-m)/[(m_1-m)-(m_2-m_3)]]\cdot 0{,}997 \quad (2)$$

где: m — масса пустой тары, г; m_1 — масса тары с асфальтобетонной смесью на воздухе, г; m_2 — масса тары с асфальтобетонной смесью в воде, г; m_3 — масса пустой тары в воде, г.

Содержание воздушных пустот (V_a) вычислялось как отношение плотностей по формуле:

$$V_a=(1-(\rho_{об}/\rho_{макс}))\cdot 100\% \quad (3)$$

В Таблице 2 представлены средние значения, полученные в ходе испытаний для каждой дозировки вяжущего.

С физической точки зрения, высокая пустотность при содержании битума 4,5% свидетельствует о недостаточной толщине битумной пленки на поверхности минеральных зерен. В такой структуре формируется открытая пористость, что облегчает доступ кислорода и влаги к внутренним слоям материала, провоцируя преждевременное старение (окисление) вяжущего и риск шелушения покрытия [7].

Таблица 2

Зависимость физических параметров смеси от содержания битума

Содержание битума, %	Объемная плотность, г/см³	Максимальная плотность, г/см³	Воздушные пустоты, %	Соответствие ГОСТ
4,5	2,336	2,474	5,6	Не соответствует (завышено)
4,6	**2,382**	**2,473**	**3,7**	**Оптимально**
4,7	2,393	2,469	3,1	Соответствует
4,8	2,406	2,459	2,2	Соответствует
5,0	2,420	2,460	1,6	На границе
5,5	2,423	2,429	0,2	Не соответствует (занижено)

Напротив, при содержании битума свыше 5,0% наблюдается эффект "переполнения" пор. Избыток вяжущего начинает работать как смазка между частицами щебня, снижая внутреннее трение минерального остова. Как показывают исследования [9, 11], в условиях высоких летних температур это неизбежно ведет к потере сдвигоустойчивости и быстрому развитию колейности под колесами транспорта. В некоторых случаях для компенсации этих рисков рассматривается возможность дисперсного армирования смеси [12], а также применение технологий холодного ресайклинга и использование асфальтогранулята, требующих особого контроля деформативности [13, 14]. Однако контроль объема пустот остается базовым требованием.

Как видно из полученных данных, при минимальной дозировке 4,5% пустотность (5,6%) выходит за границы допуска, что грозит быстрым водонасыщением и разрушением покрытия [7]. При дозировке 5,5% свободного места в порах (0,2%) практически не остается для температурного расширения битума [9].

Согласно ГОСТ 58406.2-2020, диапазон воздушных пустот для смеси А16Вн составляет 2,5–4,5%. Математический центр этого интервала — 3,5%. Анализ графика (рис. 3) показывает, что точка с содержанием битума 4,6% (пустотность 3,7%) расположена наиболее близко к центру нормативного диапазона. Это дает необходимый запас надежности материала как по водостойкости, так и по устойчивости к деформациям.

Использование дозировки 4,7% также допустимо, однако показатель 3,1% уже смещен к нижней границе ГОСТ, что делает покрытие более чувствительным к перегреву и нагрузкам. Таким образом, содержание вяжущего 4,6% является наиболее рациональным выбором для данной рецептуры.

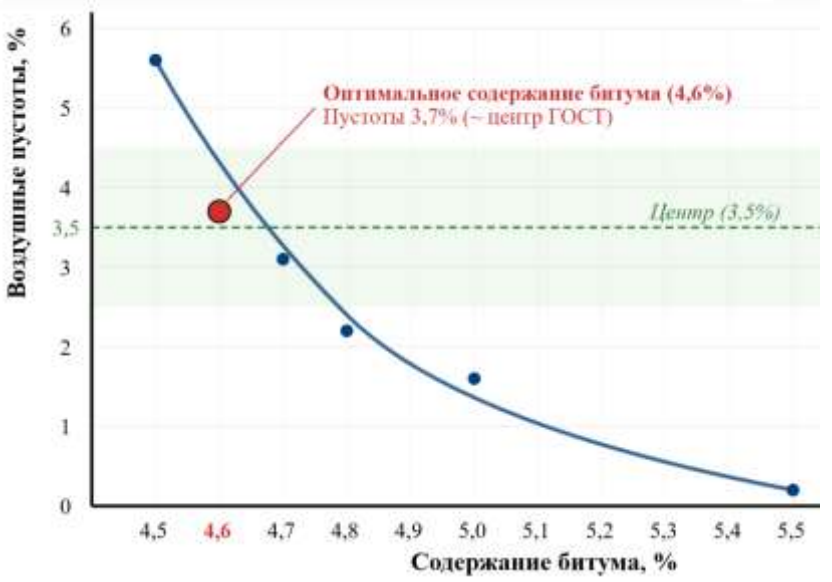


Рисунок 3. График зависимости содержания воздушных пустот от концентрации битума (в асфальтобетонной смеси типа А16Вн) с линией тренда и выделенной зоной оптимальных значений. Зеленым цветом обозначена зона допустимых значений воздушных пустот по ГОСТ (2.5% - 4.5%).

Вывод. Экспериментально установлено, что объем воздушных пустот в асфальтобетоне напрямую зависит от точности дозирования битума. Даже отклонение на 0,1% существенно меняет структуру материала. Для исследуемого состава А16Вн на гранитном щебне оптимальным является содержание битума 4,6%. В этом случае достигается пустотность 3,7%, что гарантирует стабильность покрытия в различных климатических условиях.

Полученные результаты могут быть использованы в лабораториях и на АБЗ для корректировки рабочих составов. Точный подбор вяжущего позволяет выпускать долговечный асфальтобетон, соответствующий современным стандартам [11, 16].

Список использованных источников

1. Данилов А.М. Системный подход к конструированию композиционных материалов / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2012. - № 7. - С. 23-25.

2. Котляровский Э.В. Строительно-технические свойства дорожного асфальтобетона. Учебное пособие: МАДИ, М. 2004. – 194 с.

3. Радовский Б.С. Методы проектирования состава асфальтобетонных смесей. – Каталог-справочник Технология, Санкт-Петербург: Славутич, 2006. – С.68-81.

4. Кирюхин Г.Н. Способы структурного регулирования минеральной части асфальтобетона //Сб. Дороги и мосты, вып. 33 : Росдорнии, М. 2015. – С. 297-319.

5. Дорожный асфальтобетон / Под редакцией Л.Б. Гезенцвея. – М.: Транспорт, 2008. – 336 с.

6. Предложения по оптимизации состава дорожных асфальтобетонов. СиБАДИ, Омск, 2011. – 33 с.

7. Кирюхин Г.Н. Моделирование работоспособности и долговечности асфальтобетона в дорожных покрытиях: монография / Г.Н. Кирюхин, - Техполиграфцентр, 2018 г. – 330 с.

8. Румянцев А.Н., Наненков А.А., Ломов А.А., Готовцев В.М., Сухов В.Д. Структурированный асфальтобетон – новое дорожное покрытие / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2013. С. 23-35.

9. Асфальтобетонные смеси с фибродобавками. Zez enrobes fibres // Bitume actual. -–1990. - № 92 – С.32-34. РЖ ВИНИТИ. – Автомоб. дороги. – 1991. – 8А173.

10. Бондарев Б.А. Применение фибры Dramix производства компании Бекарт в строительстве / Бондарев Б.А., Карасева О.В., Стурова В.А., Ливенцева А.А. // В сборнике: Современные проблемы материаловедения. Сборник научных трудов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 65-летию ЛГТУ. Липецк, 2021. – С. 340-342.

11. Монастырев, П. В. Сравнение глубины колееобразования между марками асфальтобетона: ЩМА-16 и А16ВН (на граните) / П. В. Монастырев, Е. В. Чурсин // Современные проблемы материаловедения : Сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Липецк, 26 февраля 2026 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2026. – С. 42-51.

12. Влияние дисперсного армирования асфальтобетона на Прочность дорожного покрытия / Е. В. Чурсин, П. В. Монастырев, М. А. Гончарова, И. А. Ткачева // Современные проблемы материаловедения : Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции, Липецк, 27 февраля 2025 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2025. – С. 329-337.

13. Влияние битумной эмульсии на деформативную способность асфальтобетонной смеси при регенерации асфальтогранулята / Л. С. Зарапина, К. А. Андрианов, А. Ф. Зубков, П. В. Монастырев // Эксперт: теория и практика. – 2025. – № 2(29). – С. 31-38. – DOI 10.51608/26867818_2025_2_31.

14. Применение асфальтогранулобетонных смесей для строительства и ремонта автомобильных дорог в демократической республике Конго / Л. М. Макая, К. А. Андрианов, А. Ф. Зубков, П. В. Монастырев // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 4(27). – С. 63-69. – DOI 10.51608/26867818_2024_4_63.

15. Разработка математической модели процессов уплотнения слоя дорожной одежды / Е. Г. Пахомова, М. Л. Макая, К. А. Андрианов [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2023. – Т. 27, № 2. – С. 75-89. – DOI 10.21869/2223-1560-2023-27-2-77-91.

16. Определение влияния параметров слоя материала из асфальтогранулята при укреплении обочин автомобильных дорог / К. А. Андрианов, А. Ф. Зубков, П. В. Монастырев [и др.] // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 3(22). – С. 40-45. – DOI 10.51608/26867818_2023_3_40.

СЕКЦИЯ 6

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

УДК 656.11
73.31.11: Автомобильные дороги

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Бутримов Е.А.,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: gsiad_tambov@mail.ru

Зубков Анатолий Федорович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: gsiad_tambov@mail.ru

Чекалов Р.А.,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: gsiad_tambov@mail.ru

Современное состояние дорожно-транспортного комплекса характеризуется постоянным увеличением интенсивности движения и осевых нагрузок на дорожное полотно. В рамках реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги» объемы ремонтных работ ежегодно растут. Однако места производства дорожных работ (МПДР) традиционно остаются наиболее опасными участками транспортной сети.

Проблема заключается в возникновении «конфликтных точек» в местах сужения проезжей части. Водитель, привыкший к определенному скоростному режиму и геометрическим параметрам дороги, сталкивается с необходимостью резкого изменения траектории и снижения скорости. Научные исследования показывают, что около 40% ДТП в зонах ремонта происходят в темное время суток, а основной причиной является недостаточное или несвоевременное информирование участников движения.

Ключевым методом обеспечения безопасности является разделение пространства дороги на зоны с разной функциональной нагрузкой. Это позволяет водителю последовательно адаптироваться к изменяющимся условиям.

Анализ зонирования:

Зона предупреждения выполняет когнитивную функцию. Первые знаки должны устанавливаться на расстоянии, позволяющем водителю не только увидеть их, но и осознать характер опасности. Использование желтого фона для временных знаков является обязательным, так как он обладает более высоким коэффициентом контрастности в условиях запыленности.

Зона отгона (перестроения) — наиболее критичный участок с точки зрения гидравлики транспортного потока. Здесь происходит перестроение из полосы в полосу. Если длина отгона слишком мала, водители вынуждены тормозить слишком резко, что создает «ударную волну», распространяющуюся назад по потоку и вызывающую заторы за несколько километров до участка работ. Математически длина отгона должна учитывать ширину перекрываемой полосы и расчетную скорость движения.

Буферная зона часто игнорируется строителями в целях экономии пространства, однако её наличие критически важно. Это пространство «нулевой терпимости», которое в случае наезда автомобиля на ограждение дает водителю время на остановку до того, как он столкнется с тяжелой строительной техникой или людьми.

Для минимизации задержек и повышения уровня безопасности применяются различные группы методов: от визуальных до принудительных. Методы обеспечения безопасности дорожного движения можно классифицировать по характеру воздействия на транспортный поток.

Таблица 1

Характеристика и параметры зон организации движения в местах производства работ

Название зоны	**Назначение зоны**	**Основные технические средства (ТСОД)**	**Расчетные параметры (ориентировочно)**
Зона предупреждения	Информирование водителей о приближении к участку работ, создание условий для снижения скорости.	Временные знаки 1.25, 3.24 (ступенчатое снижение скорости), ПИ (панели информации).	Вне населенных пунктов: от 150-300 м до первой точки изменения траектории.
Зона отгона (перестроения)	Изменение траектории движения, перевод потока на свободные полосы или объезд.	Направляющие конусы, вехи, барьеры, знаки 4.2.1, световые стрелки.	Длина отгона $L=V \cdot W/1.6L$ (где V - скорость, W - ширина полосы).
Буферная зона	Создание безопасного разрыва между транспортным потоком и рабочим персоналом.	Водоналивные блоки, демпфирующие системы (аттенюаторы).	Длина зависит от разрешенной скорости (от 10 до 50 м).
Рабочая зона	Непосредственное место размещения строительной техники, материалов.	Сетчатые ограждения, сигнальные фонари, временная разметка.	Ограничена фронтом работ.
Зона возврата	Обеспечение безопасного возвращения транспортных средств на основную траекторию.	Направляющие устройства, знаки 1.25 (конец ограничения, если требуется).	Длина составляет 15–30 метров.

Таблица 2

Классификация методов и средств обеспечения безопасности по уровням воздействия

Группа методов	**Конкретные методы/средства**	**Ожидаемый эффект**	**Особенности применения**
Оптико-визуальные	Временная оранжевая разметка, световозвращающие элементы, стробоскопы.	Улучшение видимости границ проезжей части в темное время суток и при осадках.	Эффективны при запыленности стройплощадки.
Физического разделения	Железобетонные блоки, парапетные ограждения типа «Нью-Джерси».	Предотвращение выезда транспорта на полосу встречного движения или в зону работ.	Обязательны при долгосрочных работах (более полугода).
Амортизационные	Мобильные демпфирующие системы (аттенюаторы) на прицепах.	Снижение тяжести последствий при наезде автомобиля на технику прикрытия.	Сохраняют жизнь водителя при ударе на скорости до 80-100 км/ч.
Информационные	Табло переменной информации (ТПИ), мобильные приложения-навигаторы.	Заблаговременное перераспределение потока на альтернативные маршруты.	Интеграция с ИТС (интеллектуальными транспортными системами).
Принудительные	Временные искусственные дорожные неровности (ИДН).	Принудительное снижение скорости до 20-40 км/ч перед опасным участком.	Применяются на участках с высокой интенсивностью пешеходов-рабочих.

При выборе метода необходимо учитывать категорию дороги. На автомагистралях (категория IA) приоритет отдается физическому разделению и амортизации. Скорости выше 100 км/ч делают любое столкновение фатальным, поэтому использование только конусов недопустимо. Здесь эффективно применение мобильных демпфирующих систем. Демпфер представляет собой сотовую структуру, которая при ударе деформируется, плавно поглощая кинетическую энергию.

На городских улицах более эффективны оптико-визуальные методы. Из-за плотности застройки и обилия рекламы внимание водителя рассеяно. Применение светодиодных знаков и импульсных стрелок позволяет выделить зону работ из общего визуального шума. Особенное внимание следует уделять временной разметке. Статистика показывает, что наличие оранжевой разметки снижает количество боковых столкновений в зоне отгона на 15%.

Безопасность дорожных работ неразрывно связана с понятием риска. Риск — это сочетание вероятности возникновения опасного события и тяжести его последствий.

Таблица 3

Матрица рисков и меры по их минимизации в местах производства дорожных работ

Опасный фактор (Риск)	**Вероятность (Н/С/В)**	**Тяжесть последствий**	**Основная мера профилактики**
Наезд на рабочего	Средняя	Критическая	Использование спецодежды 3-го класса защиты, установка физических барьеров.
Столкновение с техникой прикрытия	Высокая	Высокая	Применение световых стрелок большого размера, установка демпферов.
Падение в траншею	Средняя	Средняя	Установка направляющих вех вдоль кромки фрезерованного покрытия.
Лобовое столкновение при реверсе	Низкая	Критическая	Использование автоматических светофоров вместо ручного регулирования.
Ослепление светом прожекторов	Средняя	Низкая	Правильная юстировка освещения стройплощадки (свет не должен идти в глаза водителям).

Одним из скрытых факторов риска является *дифференциация скоростей*. Если часть потока движется со скоростью 40 км/ч (согласно знакам), а часть — 80 км/ч (игнорируя их), вероятность столкновения возрастает экспоненциально. В связи с этим, современные методы включают использование **динамических знаков**, которые меняют ограничение скорости в зависимости от времени суток или присутствия людей на объекте.

Другой важный фактор — *«человеческий фактор» персонала*. Рабочие в зоне дорожных работ подвергаются воздействию шума, вибрации и выхлопных газов, что снижает их бдительность. Поэтому технические средства должны выполнять функцию «защиты» — обеспечивать безопасность даже в случае ошибки рабочего или выхода его за пределы огражденной зоны.

Материал и конструкция ограждающих устройств напрямую влияют на тяжесть последствий ДТП.

Таблица 4

Технические характеристики временных ограждений

Тип устройства	**Удерживающая способность**	**Материал**	**Преимущества**	**Недостатки**
Пластиковые блоки	Низкая	Полиэтилен	Легкость монтажа, мобильность.	Без воды/песка бесполезны при ударе.
Бетонные барьеры	Высокая	Армированный бетон	Максимальная защита рабочих.	Высокая стоимость и сложность перевозки.
Буферы осевые	Средняя	Пластик + наполнитель	Защита торцевых частей ограждений.	Одноразовое использование.
Направляющие вехи	Отсутствует	Пластик	Высокая видимость, гибкость.	Не защищают от физического заезда.

Обеспечение безопасности движения при производстве дорожно-строительных работ — это многогранная инженерная задача. Анализ показал, что наибольшая эффективность достигается при сочетании жестких физических барьеров с гибкими информационными системами.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. — М.: Стандартинформ, 2019. — 120 с.
2. ГОСТ 32758-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Временные технические средства организации дорожного движения. Технические требования и правила применения. — М.: Стандартинформ, 2014. — 28 с.
3. ОДМ 218.6.019-2016. Рекомендации по организации движения и ограждению мест производства дорожных работ. — М.: Росавтодор, 2016. — 187 с.
4. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. — 4-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 352 с.
5. Немчинов М. В. Обеспечение безопасности движения при строительстве и ремонте автомобильных дорог : учебное пособие / М. В. Немчинов. — М.: МАДИ, 2011. — 156 с.
6. Васильев А. П. Управление состоянием автомобильных дорог / А. П. Васильев. — М.: Транспорт, 2005. — 248 с. (фундаментальный труд по эксплуатации дорог).
7. Каськов С. И. Анализ причин возникновения ДТП в местах производства дорожных работ и методы их профилактики / С. И. Каськов, В. А. Юмашев // Журнал «Безопасность дорожного движения». — 2021. — № 2. — С. 14–19.
8. Еремин В. М. Моделирование транспортных потоков в зонах сужения проезжей части на участках дорожных работ / В. М. Еремин, В. В. Барелко // Вестник МАДИ. — 2022. — Вып. 3 (70). — С. 88–95.
9. Котляревский М. А. Применение интеллектуальных транспортных систем для управления движением в зонах долгосрочных дорожных работ / М. А. Котляревский // Мир дорог. — 2023. — № 158. — С. 42–45.

УДК 625.7
73.31.11: Автомобильные дороги

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Власов Д.М.,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: danila1020301@mail.ru

Андрианов Константин Анатольевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук,
доцент, заведующий кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: konst-68@yandex.ru

Согласно данным, предоставленным Росстатом, на 2024 год в России насчитывалось 1583,2 тыс. км автомобильных дорог общего пользования. При этом по состоянию на конец 2014 года данный показатель составлял 1451,2 тыс. км, а в 2012 – 1 278,3 тыс. км. Эти данные показывают явное снижение темпов строительства новых автомобильных дорог, а также необходимость ремонта и содержания существующей транспортной автомобильной сети. Похожие выводы можно сделать и на основании нормативных межремонтных сроков, которые в данный момент определяют в соответствии с [2].

Для обоснования необходимости проведения ремонтных работ и выбора их конкретных типов, требуется комплексно определить состояние автомобильной дороги или её участка. Для этого было введено понятие оценки транспортно-эксплуатационного состояния или ТЭС АД. Оно показывает степень соответствия нормам технических характеристик дороги и её способность обеспечивать свои потребительские свойства. Именно его качественная оценка позволяет сделать выводы об общем состоянии участка дороги, выявить необходимость проведения восстановительных мероприятий и назначить конкретные виды работ.

Таблица 1

Межремонтные сроки для автомобильных дорог общего пользования с покрытием нежесткого типа

Тип дорожной одежды	Категория автомобильной дороги	Межремонтные сроки проведения работ	
		по ремонту, лет	по капитальному ремонту, лет
Капитальный	IA, IБ, IВ	12	24
	II	12	24
	III	12	24
	IV	12	24
Облегченный	III	12	24
	IV	12	24
Переходный	IV	12	24

В Российской Федерации применялось несколько методик для определения данного параметра. Основными являются:

- методика коэффициентов обеспеченности расчетной скорости, представленная на данный момент в недействующем нормативном документе [3];
- методика обследования автомобильных дорог, указанная в [4], изданная взамен методики коэффициентов обеспеченности расчетной скорости.

Оба подхода предполагают оценку таких показателей как:

1. геометрические характеристики дороги – ширина элементов поперечного профиля, радиусы кривых, продольные и поперечные уклоны, расстояния видимости, высота насыпей или глубина выемок;
2. характеристики конструкции дорожной одежды, в том числе покрытия – наличие дефектов, колейность, продольная ровность, сцепные качества и прочность;
3. состояние искусственных сооружений, элементов обустройства дороги.

Основные различия заключаются в методе выполнения оценки и назначения конкретных типов восстановительных работ.

Подход, приведенный в [3], предполагает разделение всего обследуемого участка на множество более коротких с последующим выяснением того, какие дефекты и отклонения наиболее сильно снижают фактическую скорость движения на них при помощи итогового коэффициента обеспеченности расчетной скорости $К_{РС}^{ИТОГ}$. Этот коэффициент в свою очередь равен минимальному по значению частному коэффициенту.

$$К_{РС}^{ИТОГ} = К_{РСi}^{min} \quad (1)$$

Вывод об общем состоянии автомобильной дороги делается на основе расчета комплексного показателя $КП_Д$ по формуле 2.

$$КП_Д = \frac{\sum_{i=1}^{n} К_{РСi}^{ИТОГ} \cdot l_i}{L}, \quad (2)$$

где $К_{РС}^{ИТОГ}$ – итоговое значение коэффициента обеспеченности расчётной скорости на каждом участке;

l_i – длина участка с итоговым значением $К_{РС}^{ИТОГ}$, км;

n - число таких участков;

L - общая длина дороги (участка дороги), км.

Для устранения дефектов ремонтные мероприятия назначались для каждого участка дороги на основании сравнения значений $К_{РСi}^{ИТОГ}$ с нормативным значением $КП_Н$, наиболее сильно снижающих расчетную скорость. Так же подобный подход помогал следить за изменением транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги в динамике по величине прироста комплексного показателя $\Delta КП_Д$.

$$\Delta КП_Д = КП_Д^К - КП_Д^Н. \quad (3)$$

В свою очередь, в соответствии с рекомендациями [4], используется совершенно иной подход к выбору восстановительных работ. Тип ремонтно-восстановительных мероприятий назначают по принципиальной блок-схеме после проведения инструментальных испытаний различных параметров покрытия и анализа геометрических параметров дороги. Фактически схема предполагает назначение наиболее ёмких работ, поглощающих менее ёмкие на участках, где параметры не соответствуют нормативным требованиям.

Однако помимо ширины, уклонов, продольной ровности и коэффициента сцепления, наличие деформаций и разрушений дорожного покрытия [5,6] чаще других заставляет водителей снижать скорость движения, что негативно сказывается на потребительских свойствах автомобильной дороги.

Здесь стоит рассмотреть подход, указанный в американском нормативном документе [7]. Его целью является получение численной оценки состояния дорожного покрытия. Определение состояния дороги выполняется при помощи визуального осмотра и расчётом показателя PCI (Pavement Condition Index) – индекса состояния покрытия. Данная методика предполагает разделение обследуемого участка дороги на более мелкие логически обоснованные секции, например перегоны между перекрестками. Они в свою очередь дробятся на ещё более мелкие единицы отбора, составляющие по площади около 2500 квадратных футов, что примерно равняется 230 м^2. В каждой секции случайным образом выбираются единицы отбора, которые будут обследованы. Доля обследуемых единиц отбора в сегменте не должна составлять менее 10%, а на ответственных участках это значение может достигать 100%. На каждой единице изыскатель должен визуально осмотреть и зафиксировать типы дефектов, приведенных в документе. Каждому дефекту присваивается уровень интенсивности (Severity): низкий (Low), средний (Medium), высокий (High), а также плотность (Density). Для каждого типа дефектов, по таблицам или номограммам определяется значение вычета DV (Deduct Value), находящееся в пределах от 0 до 100. Фактически данное значение показывает, насколько сильно данный дефект ухудшает состояние покрытия. Далее рассчитывается показатель PCI для единицы отбора по формуле 3:

$$PCI = 100 - DV\,. \tag{3}$$

Показатель PCI всей секции в целом равен среднему арифметическому всех обследуемых единиц отбора в данной секции.

Заключение о состоянии участка автомобильной дороги делается исходя из значения итогового показателя PCI в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

Итоговые значения показателя PCI и соответствующее им состояния участка дороги

Состояние	Диапазон PCI	Описание состояния
Хорошее (Good)	100 – 86	Повреждения незначительны или отсутствуют
Удовлетворительное (Satisfactory)	85 – 71	Необходимо плановое техническое обслуживание участка
Приемлемое (Fair)	70 – 56	Присутствуют заметные повреждения
Плохое (Poor)	55 – 41	Требуется ремонт для предотвращения дальнейших разрушений
Очень плохое (Very poor)	40 – 26	Серьёзные повреждения, требуется капитальный ремонт
Серьезные повреждения (Serious)	25 – 11	Критическое состояние покрытия
Отказ (Failed)	10 – 0	Полное разрушение покрытия, необходимо полное переустройство

Оба российских документа так же предлагают создание дефектных ведомостей, в которых дефектам присваиваются баллы. На основании средневзвешенного балла $Б_{СР}$ определяется целесообразность оценки прочности дорожной одежды и необходимости её усиления:

$$Б_{СР} = \frac{Б_1 l_1 + Б_2 l_2 + \cdots + Б_n l_n}{l_1 + l_2 + \cdots + l_n}\,, \tag{4}$$

где Б – балл для данного типа дефекта;

l – протяженность микроучастка со сходным состоянием дорожного покрытия;

n – число микроучастков в составе участка.

Стоит заметить, что подобный подход не даёт конкретных решений по устранению тех или иных дефектов, так как не всегда усиление дорожной одежды позволяет гарантировать их полное исправление. Во многих случаях замена покрытия или даже усиление конструкции дорожной одежды

позволяет лишь ненадолго замедлить новое появление аналогичных разрушений на том же участке. Для решения такой проблемы необходимо бороться не с последствиями, фрезеруя старое и укладывая новое покрытие, а с причинами образования таких дефектов.

В качестве примера, рассмотрим пониженный участок с низкой насыпью, где каждый год появляются трещины и довольно быстро превращаются в глубокие выбоины, сильно затрудняющие движение, а иногда и наносящие серьёзный ущерб транспортным средствам. Причиной таких систематических разрушений может являться замачивание низа дорожной одежды высоким уровнем грунтовых вод или вызванное длительным застоем воды у откоса насыпи. В данной ситуации замена покрытия не поможет решить проблему появления дефектов, так как в самом скором времени они проявятся снова. В таком случае целесообразно предусмотреть устройство дренажа для понижения уровня грунтовых вод (рисунок 1), устройство водоотвода, если проблема вызвана застоем воды или увеличение высоты насыпи выше уровня капиллярного поднятия, чтобы исключить увлажнение нижних слоёв конструкции дорожной одежды.

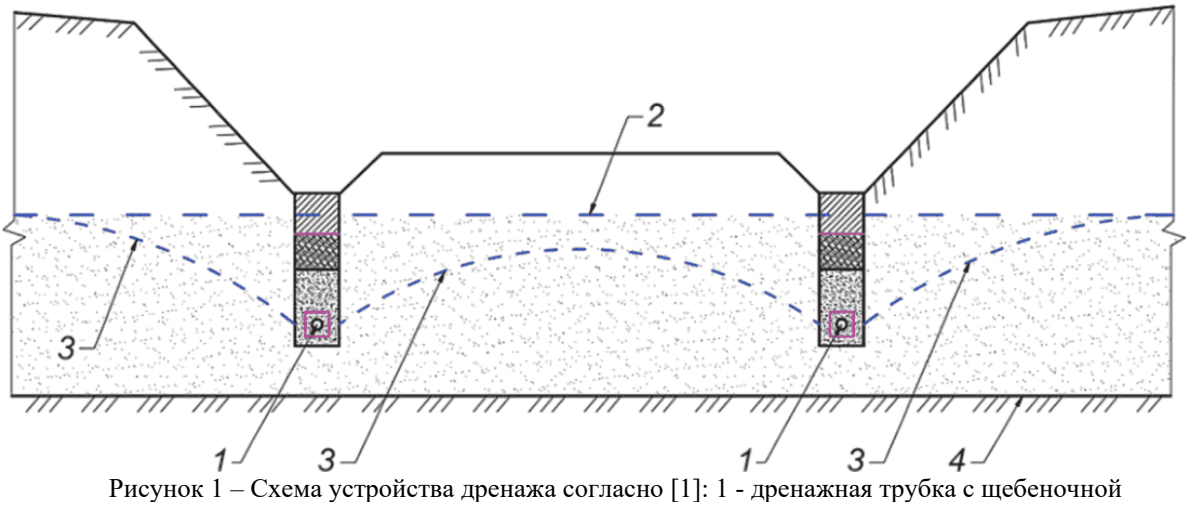


Рисунок 1 – Схема устройства дренажа согласно [1]: 1 - дренажная трубка с щебеночной засыпкой; 2 – уровень грунтовых вод до понижения; 3 - кривая депрессии после устройства дренажа; 4 - водоупорный слой

На данный момент в целях борьбы с подобными ситуациями необходимо разработать рекомендации по обнаружению таких «проблемных» участков, а также подбору мероприятий для нормализации условий работы конструкции дорожной одежды, что и будет являться целью дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 59611-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Система водоотвода. Требования к проектированию : утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 05.08.2021 № 689-ст : дата введения 2021-09-01 : взамен ГОСТ Р 59611-2021 (принят впервые). — Москва : Стандартинформ, 2021. — [Текст]. — III, 39 с.

2. ГОСТ Р 58861-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2020 г. № 228-ст : дата введения 2020-08-01. — Москва : Стандартинформ, 2020. — [Текст]. — 20 с.

3. ОДН 218.0.006-2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Основные положения : утв. распоряжением Минтранса РФ от 03.10.2002 № ИС-840-р : взамен ВСН 6-90. — Москва, 2002. — [Текст].

4. ОДМ 218.4.039–2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог : изд. на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 04.07.2018 № 2481-р. — Москва : Росавтодор, 2018. — [Текст]. — 447 с.

5. Виды дефектов конструкции дорожной одежды и причины их образования / Д. С. Дрогунов, Л. С. Зарапина, К. А. Андрианов, А. Ф. Зубков // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2024. – № 4(26). – С. 28-32.

6. Дрогунов, Д. С. Анализ изменений нормативных документов по расчету конструкции дорожной одежды нежесткого типа с учетом увеличения межремонтных сроков / Д. С. Дрогунов, Д. М. Власов, К. А. Андрианов // Современные проблемы материаловедения : Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции. — Липецк 2025 — Т.2 — С. 16-21.
7. ASTM D6433-24. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys / ASTM International. — West Conshohocken, PA : ASTM International, 2024. — 47 p. — [Текст] : на англ. яз.

УДК 625.7
73.31.11: Автомобильные дороги

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ

Пустотин Максим Николаевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: maksim-pustotin2016@yandex.ru

Андрианов Константин Анатольевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: konst-68@yandex.ru

Строительство современных автомобильных дорог часто требует прокладки трасс через сложные участки с неустойчивыми грунтами, включая участки со слабыми основаниями. К таким основаниям относятся водонасыщенные глинистые грунты, торфяники, илистые и переувлажненные грунты, которые обладают низкой несущей способностью и высокой деформативностью. Возведение земляного полотна на таких основаниях связано с рядом технических и экономических трудностей: значительные просадки, обрушение откосов и сокращение срока службы. В данной статье рассматриваются рекомендации по применению геосинтетических материалов в конструкциях земляного полотна на слабых основаниях, а также оценка их технико-экономической целесообразности.

Геосинтетические материалы представляют собой полимерные изделия, которые применяются для армирования, разделения, фильтрации, дренирования и защиты дорожных конструкций. Наиболее распространенными видами являются геотекстиль, георешетки, геосетки и геомембраны. Их применение при устройстве земляного полотна на слабых основаниях способствует более эффективному распределению нагрузок. Применение геосинтетических материалов на слабых основаниях осуществляется по следующим критериям:

1. Определение, что из себя предоставляет конструктивный элемент земляного полотна с обоснованием применения геосинтетики.
2. Для каких целей геосинтетические материалы применяются в строительстве (укрепление, разделение слоев, отвод воды, фильтрация, защита от размыва, гидроизоляция), какие задачи решают, почему их использование целесообразно как с технической, так и с экономической точки зрения.
3. Тщательное исследование строительной площадки с целью определения характеристик района строительства и природных условий.
4. Подбор геосинтетического материала на основании результатов лабораторных испытаний, оценка пригодности материала к применению.
5. На основании расчетов дорожных конструкций определение физико-механических свойств геосинтетического материала.

Основной функцией геосинтетических материалов является разделение слоев в земляном полотне. Укладывая геосинтетику на подготовленный слабый грунт, мы предотвращаем его смешивание с другими слоями насыпи. Это позволяет более качественно уплотнить насыпь, а также оптимизировать технологию строительства.

Геосинтетические материалы обладают также фильтрующими свойствами, которые позволяют пропускать воду через себя и удерживать частицы грунта. Данный механизм помогает избавиться от эрозии грунта, которая может стать причиной деформаций земляного полотна.

Кроме того, геосинтетика обладает дренажной функцией, которая способствует эффективному отводу воды из тела конструкции земляного полотна. Это приводит к снижению переувлажнения грунта и увеличивает его несущую способность.

Помимо этого, геосинтетика выполняет защитную функцию, предотвращая размыв откосов и сохраняя целостность конструктивных элементов, от воздействия водной эрозии.

Виды геосинтетических материалов в зависимости от выполняемых функций приведены в табл.1 [1-4].

Таблица 1

Рекомендации по применению геосинтетических материалов в конструктивных элементах земляного полотна автомобильных дорог

Функции геосинтетических материалов	Конструктивный элемент земляного полотна	Вид геосинтетического материала
Армирование	Основание насыпи Рабочий слой Тело насыпи	Георешетка пластмассовая экструдированная
		Георешетка тканая
		Георешетка вязаная
		Георешетка пластмассовая скрепленная
		Геополотно тканое
		Геополотно вязаное
		Геосотовый материал пластмассовый скрепленный
Разделение	Основание насыпи Рабочий слой Тело насыпи	Геополотно тканое
		Геополотно вязаное
		Геополотно нетканое
Фильтрация	Основание насыпи Рабочий слой Тело насыпи	Геополотно тканое
		Геополотно вязаное
		Геополотно нетканое
Дренирование	Рабочий слой Тело насыпи	Геополотно нетканое
	Основание насыпи	Геополотно нетканое
		Геооболочка тканая
		Геооболочка вязаная
Гидроизоляция	Основание насыпи	Геомембрана пластмассовая экструдированная
		Геомембрана композиционная
		Геомембрана битумная
		Глиномат

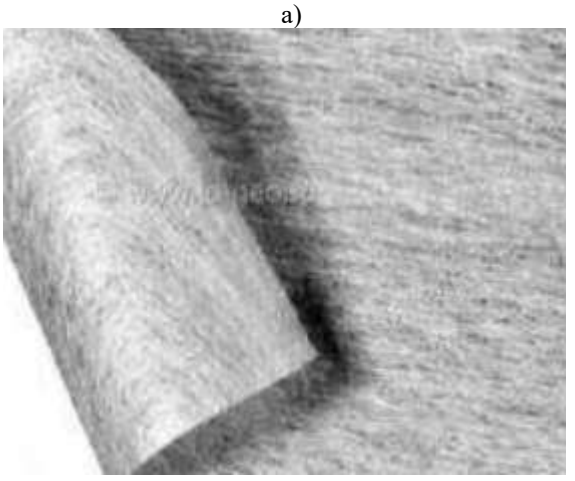
Внешний вид геосинтетических материалов приведен на рис.1-4.



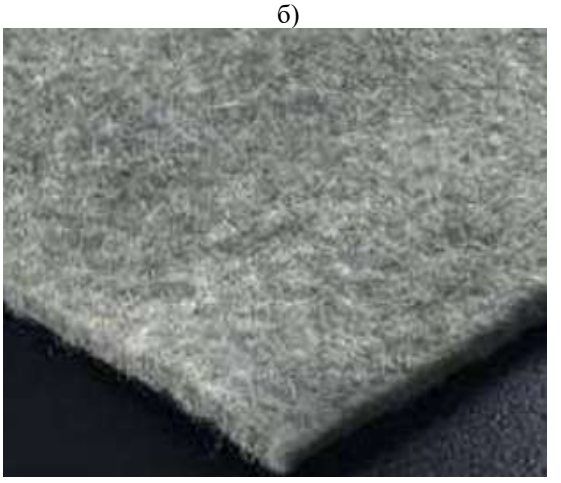
а)



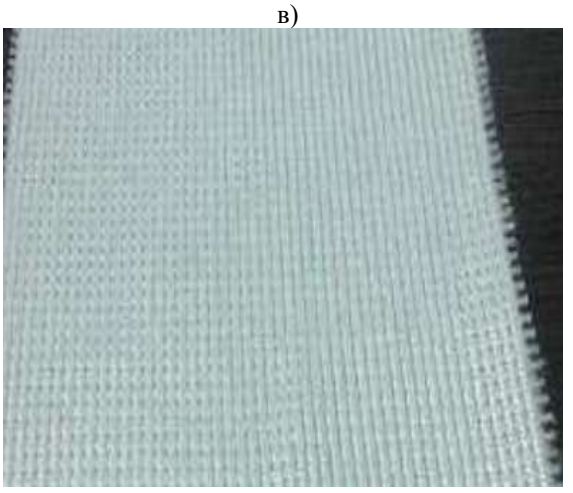
б)



в)



г)

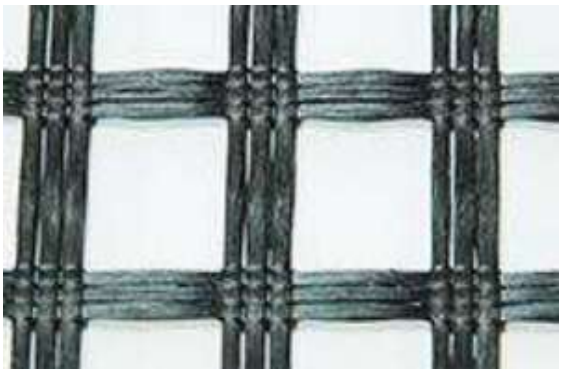


д)



е)

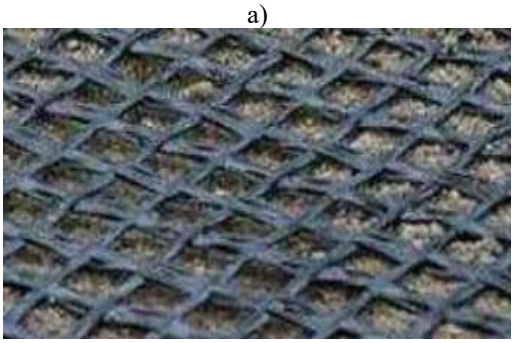
Рисунок 1 - Примеры образцов геотекстиля:
а – геоткань, б - геоткань высокопрочная; в - дорнит; г - дорнит плотностью 600 г/м^2; д - дорнит вязаный; е - дорнит термоскрепленный



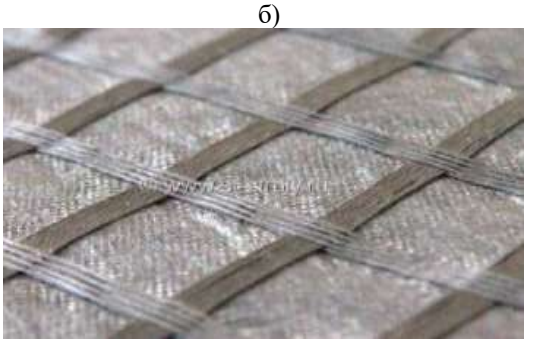
а)



б)



в)



г)

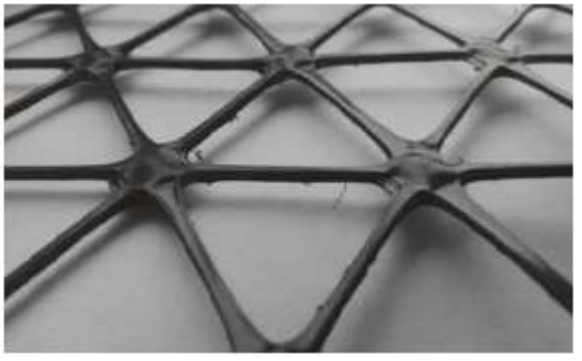
Рисунок 2 - Примеры образцов геосеток:
а - геосетка ССНП; б - геосетка БЗ; в - геосетка ПС; г - геосетка для грунтов



а)

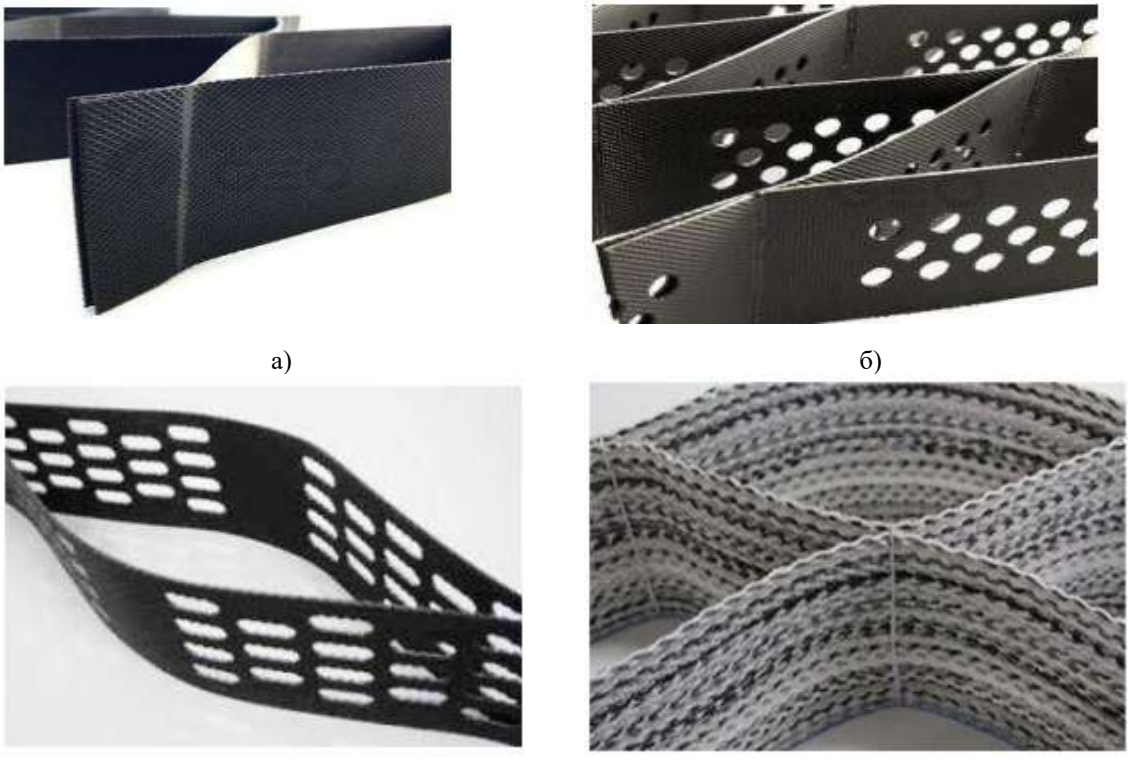


б)



в)

Рисунок 3 - Примеры образцов георешеток (плоских):
а - георешетка одноосная; б - георешетка двухосная; в - георешетка трехосная



а) б)

в) г)

Рисунок 4 - Примеры образцов геосотового материала (пространственных георешеток): а - геосоты без перфорации; б - геосоты с перфорацией; в - геосотовая ячейка; г - геосоты из тканых лент

При возведении автомобильных дорог в сложных инженерно-геологических условиях, где обычные методы стабилизации оснований характеризуются высокой трудозатратностью, геосинтетические материалы приобретают особую роль. Их применение оптимизирует распределение нагрузки, улучшает гидрологические характеристики грунтов и предотвращает взаимное перемещение слоев дорожной одежды [5].

Кроме того, использование геосинтетических материалов позволяет минимизировать объемы земляных работ, сократить расход материалов и снизить общую стоимость строительства. Данная технология является не только технически обоснованной, но и экономически целесообразной.

Таким образом, использование геосинтетических материалов в процессе устройства земляного полотна на слабых основаниях является перспективным направлением развития транспортного строительства, которое обеспечивает повышение качества, надежности и срока службы автомобильных дорог.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 55028–2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения.

2. ГОСТ Р 56419-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для разделения слоев дорожной одежды из минеральных материалов. Технические требования.

3. ГОСТ Р 72001-2025. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические. Общие технические условия.

4. ОДМ 218.3.120–2020. Методические рекомендации по расчету насыпей автомобильных дорог на слабых грунтах основания с применением геосинтетических материалов.

5. Чиркина, Е. А. Способы технологии стабилизации и укрепления грунтов на автомобильных дорогах / Е. А. Чиркина, К. А. Андрианов // Современная наука: теория, методология, практика : Материалы 2-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 мая 2020 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 178-181.

УДК 625.765
73.31.11: Автомобильные дороги

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Бондарев Борис Александрович,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
e-mail: lnsp-48@mail.ru

Бондарев Александр Борисович,
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное материаловедение и дорожные технологии»
e-mail: lnsp-48@mail.ru

Ярцев Виктор Петрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
e-mail: jarcev21@rambler.ru

Жидков Владимир Константинович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: gidkov_vova_1999@mail.ru

Автомобильная дорога представляет собой комплексную многоуровневую систему, характеризуемую наличием разнотипных конструктивных элементов: верхнего слоя покрытия, выполненного из асфальтобетонной смеси, промежуточного несущего слоя, образованного щебнем крупной фракции, нижележащего стабилизирующего песчаного слоя, укрепленного посредством искусственно сформированного насыпного грунта, дополненную защитными слоями из современных синтетических строительных материалов (геотекстиль, георешётка, геоматы). Данные слои образуют единый конструкционный массив, обеспечивающий долговечность эксплуатации автодорожного покрытия и восприятие динамических транспортных нагрузок [7-8].

Дороги промышленных предприятий являются высокотехнологичными сооружениями сложной конструкции, включающими верхний защитный слой, изготовленный из плотных асфальтовых либо цементобетонных смесей, прочный несущий слой основания слой, возводимый преимущественно из высококачественного бетона или армированного бетона и мощного уплотнённого щебёночного пласта, равномерно распределяющего нагрузки на подготовленное грунтовое основание или специальный морозостойкий песочный разделительный слой. Проектирование дорожных конструкций осуществляется индивидуально для каждого объекта промышленной инфраструктуры, учитывая характер и интенсивность ожидаемых механических воздействий, перспективы роста объёмов перевозок грузов, особенности имущественных прав владельцев сооружений. Однако нередко используемая конструкция покрытий оказывается недостаточной для долговременного противостояния агрессивному воздействию внешней среды, следствием чего становится появление повреждений различного характера: продольных и поперечных деформационных разрывов, трещинообразования по линиям сопряжения плит оснований, образование волнообразных неровностей и износ поверхности полос наката транспортного потока [4-6]. Незначительное повреждение любого элемента данной многослойной системы способно привести к резкому снижению функциональных качеств всей конструкции. Продление сроков эффективного функционирования автодорог возможно лишь после тщательного анализа существующего технического состояния и проведения расчёта оставшегося ресурсного потенциала. Представляем предлагаемый подход оценки остаточного ресурса на конкретном примере автозаводской магистрали предприятия, расположенного в Липецком районе Липецкой области.

Конструкция дорожной одежды на исследуемом участке представляет собой многослойную конструкцию, выполненную из двух слоев асфальтобетонного покрытия различной толщины. Для устройства верхнего слоя покрытия применена асфальтобетонная смесь горячая плотная мелкозернистая тип Б марки II (минеральный заполнитель – шлаковый щебень). Показатель водонасыщения в керне составил 2,5 %, что соответствует требованиям ГОСТ 9128-2013 ТУ. Коэффициент уплотнения в керне составил 0,94 - верхний слой асфальтобетонного покрытия не уплотнен. Согласно требованиям СП 78. 13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги», п. 12.5.3

«коэффициент уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды должен быть не ниже: 0,99 — для плотного асфальтобетона из горячих и теплых смесей типов А и Б».

Для устройства нижнего слоя асфальтобетонного покрытия применена горячая плотная песчаная тип Г марки II (минеральный заполнитель – природный песок и отсев дробления шлака). Показатель водонасыщения в керне составил 8,4% что не соответствует требованиям ГОСТ 9128-2013 ТУ. Коэффициент уплотнения в керне составил 0,80 - слой асфальтобетонного покрытия не уплотнен. Согласно требованиям СП 78. 13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги», п. 12.5.3 «коэффициент уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды должен быть не ниже: 0,98 —для плотного асфальтобетона из горячих смесей типов В, Г и Д, пористого и высокопористого асфальтобетона».

В качестве основания применен цементобетон классом по прочности В22,5, с коэффициентом требуемой прочности Кт =1,28, согласно ГОСТ 18105-2018 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности» табл. А.3 при контроле прочности бетона по схеме Г. Заполнитель бетона — гранит, максимальный размер зерна - 20 мм.

В земляном полотне применен песчаный грунт. Согласно ГОСТ 25100-11 данный грунт классифицируется как песок очень мелкий. В ходе лабораторных испытаний определено, что: естественная влажность составляет 5,1%; оптимальная влажность - 11,7%; максимальная плотность грунта составляет 1,79 гр/см^3, коэффициент фильтрации составляет 0,11 м/сут (слабоводопроницаемый).

Расчет оставшегося ресурса обследуемых участков автомобильной трассы производился согласно требованиям стандарта СТО АВТОДОР 2.4-2013 «Методика оценки остаточного ресурса нежёстких дорожных покрытий автодорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги», а также на основе итогов проведённой диагностики рассматриваемой автодороги.

Данный стандарт предусматривает возможность расчета остаточного ресурса двумя способами:

— Если дорожное покрытие имеет небольшой период эксплуатации и находится в удовлетворительном техническом состоянии, расчёт осуществляется исходя из реальных показателей интенсивности транспортного потока и поперечной ровности дорожного полотна обследованной магистрали.

— В случае приближающегося к нормативному срока эксплуатации покрытия либо наличия повреждений поверхности, применяется метод расчёта на основании комплексного обследования, включая измерение общего модуля упругости, вычисления коэффициента прочности и проведения визуального осмотра состояния покрытия.

При выполнении настоящей работы использовался именно второй способ, основанный на результатах измерения общего модуля упругости и оформлении ведомости визуального контроля состояния дороги. Стандарт СТО АВТОДОР определяет зависимость между полученными значениями коэффициента прочности и уровнем остаточного ресурса дорожной конструкции (см. рисунок 1).

Под надёжностью дорожной одежды понимается способность всей дорожной конструкции поддерживать требуемые технические параметры (гладкость, несущую способность, рельефность поверхности) до истечения установленного периода эксплуатации.

Обобщающей характеристикой надёжности служит показатель её уровня, отражающий вероятность выхода конструкции из строя раньше запланированного срока эксплуатации вследствие возникновения критичных деформаций или разрушения.

Показатель уровня надёжности (УН) отражает вероятность наступления ситуации повреждения дорожного покрытия или конструкции по отдельным критериям (индивидуальный уровень) или совокупности нескольких критериев (комплексный уровень). Величина показателя УН интерпретируется следующим образом [1]:

$$P = 1 - F_p/F_o$$

Где F_p - площадь покрытия дорожной одежды, имеющая недопустимые деформации или разрушения на конец срока службы;

F_o - общая площадь дорожной одежды.

$P = 1 - F_p/F_o$

$P = 1 - \frac{6154}{9900} = 1 - 0{,}622 = 0{,}378$

Значение 0,378 свидетельствует о неудовлетворительном состоянии покрытия проезжей части.

Оценку уровня надежности эксплуатируемой дорожной одежды находим по формуле:

$$K = 1 - \frac{\sum S_{di} * K_w}{S_p}$$

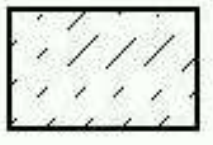
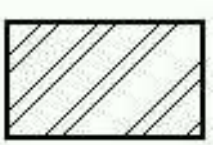
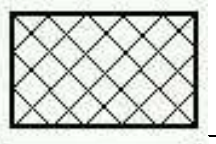
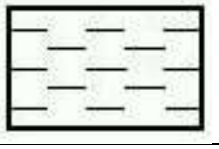
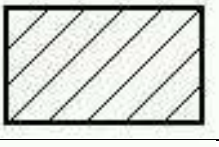
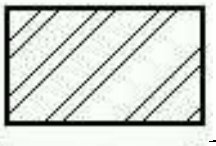
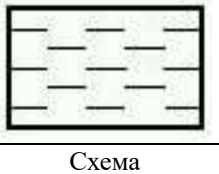
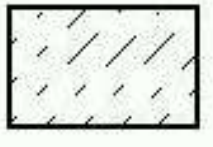
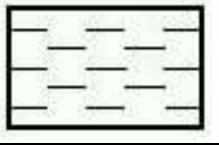
где S_{di} – площадь каждого вида дефекта покрытия на участке дороги, м^2;

K_w – коэффициент весомости;

S_p – общая площадь покрытия на участке, м^2.

Таблица 1

Конструкция дорожной одежды обследуемого участка

Место отбора проб	Схема	Толщина слоя	Слой дорожного покрытия
Проба № 1 (ПК2+31)		20 мм	Верхний слой(асфальтобетон)
		60 мм	Нижний слой(асфальтобетон)
		90 мм	Верхний слой (цементобетон)
		260 мм	Нижний слой(цементобетон)
		500 мм	Песчаное основание
Место отбора проб	Схема	Толщина слоя	Слой дорожного покрытия
Проба № 2 (ПК7+10)		80 мм	Верхний слой(асфальтобетон)
		200 мм	Цементобетон
		500 мм	Песчаное основание
Место отбора проб	Схема	Толщина слоя	Слой дорожного покрытия
Проба № 3 (ПК12+47)		50 мм	Верхний слой(асфальтобетон)
		60 мм	Нижний слой(асфальтобетон)
		500 мм	Песчаное основание

Площадь каждого вида дефекта покрытия на участке дороги S_{di} для линейных дефектов определяется по формуле:

$$S_{di} = W * L_i$$

где L_i – протяженность линейного дефекта покрытия на участке дороги, м;

w – коэффициент приведения, который принимается:

отдельные трещины – 0,5;

колея до 1,5 см – 0,3;

колея от 1,5 до 3,0 см – 0,4;

колея >3,0 см – 1,0;

разрушение кромок – 0,2.

Коэффициент весомости ($К_w$) для асфальтобетонных покрытий дефекта «частые трещины» принят за единицу. По отношению к трещинам весомость остальных дефектов принимается: отдельные трещины – 1,0; частые трещины – 1,0; сетка трещин – 1,2; выбоины – 1,5; колея до 1,5 см – 1,0; колея от 1,5 до 3,0 см – 1,3; колея >3,0 см – 1,6; заплаты – 1,0; выкрашивание – 0,6; разрушение кромок – 0,3.

Площадь каждого вида дефекта покрытия на участке дороги S_{di} для линейных дефектов:

$S_{di} = 0,6 * 390 = 234$

$S_{di} = 0,5 * 400 = 200$

$S_{di} = 0,5 * 120 = 60$

$S_{di} = 0,3 * 505 = 151,5$

Дефектность покрытия:

$$K = 1 - \frac{(234 + 200 + 60 + 151,5)}{9900} = 0,935$$

Средняя дефектность покрытия автодороги:

0,935 – что говорит о снижении покрытием своих транспортно-эксплуатационных функций.

Находим коэффициент запаса дорожной одежды по формуле:

$$K_з = \sum_{i=1}^{n} (x\gamma K_i E_i)/nE_{min}^{тр}$$

Где x – коэффициент, учитывающий снижение коэффициента уплотнения в зависимости от нормативных показателей; γ – коэффициент, учитывающий продольную ровность покрытия (IRI); K_i; E_i - показатели дефектности и модуля упругости в конкретной точке измерения. Показатель K_i принимается 0,935, модуль упругости, полученный в результате измерений, приведен ниже:

Начало участка, км	Конец участка, км	Модуль упругости, МПа	
		Фактический (измеренный)	Минимально допустимый
0,000	0,300	210,5	150,0
0,300	0,600	203,0	150,0
0,600	0,900	211,5	150,0
0,900	1,200	202,0	150,0
1,200	1,610	213,0	150,0

Для учета снижения модуля упругости при снижении коэффициента уплотнения воспользуемся системой [3]:

$$\frac{0,99(0,98)}{1} = \frac{К_{упл}^{факт}}{x}$$

где 0,99(0,98) – требуемый коэффициент уплотнения асфальтобетонных слоев покрытия для типов А,Б и В,Г соответственно;

$К_{упл}^{факт}$ – фактическая величина коэффициента уплотнения, определяемая лабораторным путем;

x – понижающий коэффициент, учитывающий снижение модуля упругости при недостаточном уплотнении смеси.

Для верхних слоев покрытия:

Проба 1

$$\frac{0,99}{1} = \frac{0,94}{x = 0,95}$$

Проба 2

$$\frac{0,99}{1} = \frac{0,87}{x = 0,88}$$

Проба 3

$$\frac{0,99}{1} = \frac{0,93}{x = 0,94}$$

Для нижних слоев покрытия:

Проба 1

$$\frac{0,98}{1} = \frac{0,80}{x = 0,82}$$

Проба 3

$$\frac{0,98}{1} = \frac{0,88}{x = 0,90}$$

Таким образом, в среднем понижающий коэффициент, учитывающий коэффициент уплотнения асфальтобетона, принимается 0,94.

Учет изменения ровности в процессе эксплуатации для определения значения суммарного коэффициента приведения транспортного средства к расчетной нагрузке следует применять следующую формулу [4]:

$$S_{m\text{сум}} = b * (c_1^V) * (c_2^M)$$

Где V – скорость транспортного средства, км/ч;

M – общая масса транспортного средства, тонн;

b, c1, c2 – эмпирически полученные коэффициенты, зависящие от IRI.

$$S_{m\text{сум},1} = 0,0047 * 1,0202^{40} * 1,2518^{11,0} = 0,124$$

Таким образом,

$$\sum N_{\text{факт}} = f_{\text{пол}} \sum_{t=1}^{t_{\text{ост}}} \sum_{m=1}^{n} (N_{tm} * T_{\text{ргд}} * 0,7) * S_{m\text{сум}} * k_n$$

$\sum N_{\text{факт},1} = (0,55 * (4,372 * 135 * 0,7) * 1,31) + (0,124 * 135 * 0,7 * 3) = \mathbf{332,83}$ – фактическое число приложения нагрузки за один год эксплуатации.

$$\sum N_{\text{факт},12} = 0,7 * N_p \frac{K_c}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} T_{\text{рдг}} k_n$$

$$= (0,55 * (4,372 * 135 * 0,7) * 1,31) + (0,124 * 135 * 0,7 * 3) * 10,25 = \mathbf{3411,52}$$

где $\frac{K_c}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} = \frac{(q^{T_{\text{сл}}}-1)/(q-1)}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} = \frac{(1,03^{12}-1)/(1,03-1)}{1,03^{(12-1)}} = 10,25$

Таким образом, учет продольной ровности покрытия (IRI) выражается в умножении фактического модуля упругости на коэффициент γ, полученный по формуле:

$$\gamma = \frac{N_p}{N_{\text{факт},12}} = \frac{3154,09}{3411,52} = 0,924$$

$E_{min}^{\text{тр}}$ - требуемый минимальный модуль, полученный по формуле ниже:

$$E_{min}^{\text{тр}} = 98,65\left[lgN_{\text{факт}} - c\right]$$

где Nфакт – суммарное приложение расчетной нагрузки за срок службы дорожной одежды; с – эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось: 100 кН – 3,55; 110 кН – 3,25 кН; 130 кН – 3,05; 115 кН – 3,20.

Так, для автодороги ОГЦ-3 [2]:

$$E_{min}^{\text{тр}} = 98,65[\lg(3154,09) - 3,20] = 0 \text{ МПа}$$

Минимальный модуль упругости для автодороги ОГЦ-3 принимаем равным 150 МПа, исходя из выражения, определяющего средний модуль упругости для автодорог IIIв категории:

$$E_{min}^{\text{тр}} = 98,65[\lg(52600) - 3,20] = 150 \text{ МПа}$$

Определяем коэффициент запаса по прочности:

$$K_з = \sum_{i=1}^{n} (0,94 * 0,924 * 0,935 * 210,5) + (0,94 * 0,924 * 0,935 * 203) + (0,94 * 0,924 * 0,935 * 211,5)$$
$$+ (0,94 * 0,924 * 0,935 * 202) + (0,94 * 0,924 * 0,935 * 213) / 5 * 150 = 1,13$$

Определим коэффициент запаса для каждого участка автодороги отдельно по таблице 2.

Таблица 2

Коэффициент запаса прочности автомобильной дороги

Начало участка, км	Конец участка, км	Модуль упругости, МПа		Коэффициент запаса прочности
		Фактический (расчетный)	Минимально допустимый	
0,000	0,300	171,0	150,0	1.14
0,300	0,600	165,0	150,0	1.10
0,600	0,900	172,0	150,0	1.15
0,900	1,200	164,0	150,0	1.09
1,200	1,610	173,0	150,0	1.15

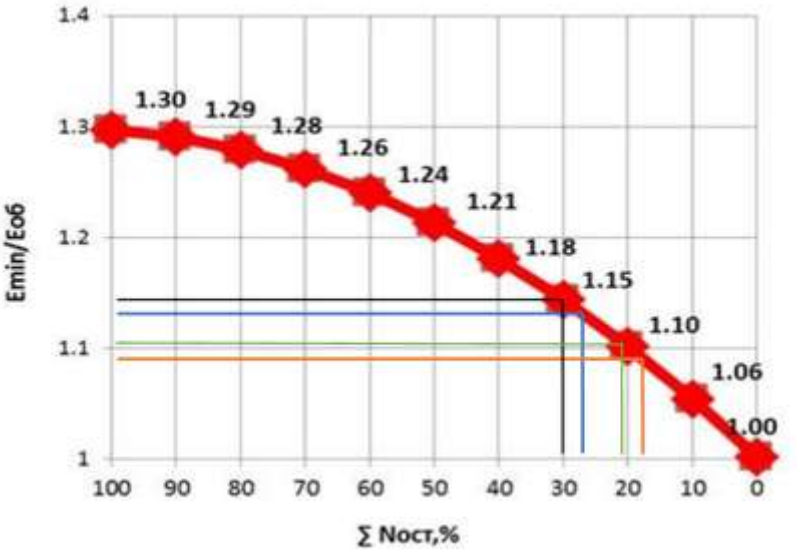


Рисунок 1 - Зависимость остаточного ресурса от коэффициента прочности по СТО АВТОДОР 2.4-2013

Фактический остаточный ресурс автодороги определяется по графику, представленному на рисунке 1. Таким образом, остаточный ресурс на участке 000 м – 1610 м менее 35%.

Список использованных источников

1. СТО АВТОДОР 2.4-2013 «Оценка остаточного ресурса нежестких дорожных конструкций автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги».

2. ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд». – 2001, ФГУП "Союздорнии".

3. Костельов М.П. Зачем уплотнять асфальтобетон выше минимальной нормы / М. П. Костельов // Дорожная техника. – 2016. – № 05. – С. 135-138

4. Определение остаточного ресурса жестких дорожных одежд промышленных предприятий / Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, В. П. Ярцев, В. К. Жидков // Строительные материалы. – 2024. – № 3. – С. 71-82. – DOI 10.31659/0585-430X-2024-822-3-71-75.

5. Расчет остаточного ресурса дорожных одежд с использованием эмпирических методов / Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, В. А. Баязов [и др.] // Актуальные проблемы науки и техники. 2024 : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–21 марта 2024 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2024. – С. 1120-1121.

6. Определение остаточного ресурса автомобильных дорог промышленных предприятий / Б. А. Бондарев, В. П. Ярцев, А. Б. Бондарев, В. К. Жидков // Современные проблемы материаловедения : Сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции, Липецк, 23 января 2024 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2024. – С. 44-56.

7. Прогнозирование долговечности шлакобетонов в условиях агрессивной сульфатной среды / М. А. Гончарова, А. В. Мраев, А. Р. Пачин, Т. К. Акчурин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2022. – № 3(88). – С.

70-75.
8. Гончарова, М. А. Системы твердения и строительные композиты на основе конвертерных шлаков / М. А. Гончарова ; М. А. Гончарова ; М-во образования и науки РФ, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Воронежский гос. архитектурно-строит. ун-т". – Воронеж : Гончарова, М. А. Повышение прочности асфальтобетонных смесей для ремонта жестких дорожных покрытий / М. А. Гончарова, И. А. Ткачева // Строительные материалы. – 2023. – № 1-2. – С. 33-37. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-33-37.
9. Агамов, Р. Э. Сталеплавильные шлаки как эффективное сырье в дорожном строительстве / Р. Э. Агамов, М. А. Гончарова, А. В. Мраев // Строительные материалы. – 2023. – № 1-2. – С. 56-62. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-56-60.

УДК 625.08
67.17.31: Оборудование для производства строительных материалов

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Водолажченко Александр Григорьевич
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», старший преподаватель кафедры наземных транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: a.g.vodolazhchenko@donnasa.ru

Даценко Виталий Михайлович
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: v.m.datsenko@donnasa.ru

Аннотация.
В статье рассматривается оборудование, позволяющее выполнять малообъемный ямочный ремонт асфальтобетонного покрытия на второстепенных дорогах, внутриквартальных улицах и внутридомовых проездах с использованием измельченного старого асфальтобетона. На основании анализа существующих конструкций и патентной информации предложена принципиальная схема установки для повторного использования асфальтобетонной смеси, позволяющая осуществлять нагрев материала без перегрева и его перемешивание с добавками.

Ключевые слова: асфальтобетон; ремонт ямочный; рециклер; гранулят старого асфальта; битум; барабан нагревательный; лопасть; горелка

Цель работы: разработать конструкцию установки для повторного использования асфальтобетонной смеси.

В Донецкой народной Республике реализуется масштабная программа по ремонту и восстановлению сети автомобильных дорог. В соответствии с принятым планом, к 2030 году в республике планируется построить и отремонтировать 3,5 тыс. км улично-дорожной сети. Большой объем работ уже выполнен: начиная с 2022 года, отремонтировано порядка 2400 км автодорог, а за 2025 год было приведено в порядок более чем 900 км. Динамика хода восстановительных работ на автомобильных дрогах Донецкой Народной Республики показана на рисунке 1, данные взяты из открытых источников [3, 4, 9, 10].

Асфальтобетонные дорожные покрытия относятся к покрытиям нежесткого типа, материал которых способен деформироваться при изменении температуры за счет пластичности.

Асфальтобетон, используемый в качестве покрытия дорожной одежды, включает в свой состав в качестве органического вяжущего битум, который в основном состоит из асфальтенов и мальтенов. Асфальтобетон подвергается силовому воздействию со стороны транспортных средств, а также атмосферным воздействиям, которые провоцируют старение материала покрытия из-за уменьшения фазы мальтенов в битуме, которое происходит в результате окислительных процессов. Окисление

становится причиной уменьшения пластичности и вязкости битума, при этом снижается сопротивление усталости асфальтобетона, что в свою очередь приводит к растрескиванию и потере структурной целостности покрытия.

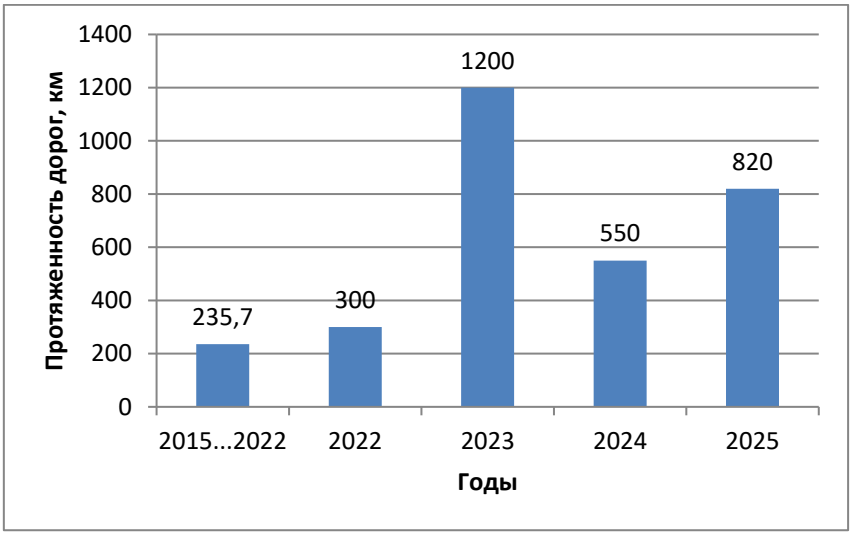


Рисунок 1 – Протяженность восстановленных автомобильных дорог в Донецкой Народной Республике

При выполнении ремонтных работ на первом этапе производится демонтаж старого дорожного покрытия. Для выполнения этой операции в настоящее время наиболее широко применяется холодное фрезерование асфальтобетонного покрытия специальными дорожными фрезами. В результате образуется большое количество так называемого фрезажа или гранулята старого асфальта (ГСА).

При больших объемах восстановления сети автомобильных дорог образуется колоссальное количество ГСА, которое требует удаления на свалки или направляется на переработку. Повторное использование старого асфальта – рециклинг – может осуществляться непосредственно на месте восстановительных работ, либо путем приготовления новой асфальтобетонной смеси с добавлением ГСА в стационарных установках.

Первый вариант может реализовываться двумя способами: горячим и холодным. Горячий способ или термопрофилирование, предусматривает разогрев материала старого покрытия при помощи пропановых горелок, рыхление разогретого материала, добавление новой асфальтобетонной смеси и перемешивание ее со старой, распределение полученной смеси по ширине дорожного покрытия, предварительное и окончательное уплотнение. Данная технология реализуется специальными машинами, которые получили название ремиксеры (Remixer).

Холодная переработка асфальтобетонного покрытия осуществляется с использованием специальных машин – ресайклеров, рабочий орган которых представляет собой цилиндрический фрезерный барабан. При этом в ГСА добавляется вяжущее в виде цементно-водяной эмульсии, горячего битума или вспененного битума.

Холодная технология последнее время получает значительное распространение благодаря меньшим затратам энергоносителей и соответственно меньшим выбросам продуктов сгорания топлива в атмосферу.

Второй способ переработки ГСА реализуется главным образом на асфальтобетонных заводах, на которых предусмотрено соответствующее оборудование. Этот способ связан со значительными расходами на транспортирование материала снятого покрытия к месту переработки, а затем уже переработанного материала к месту его укладки.

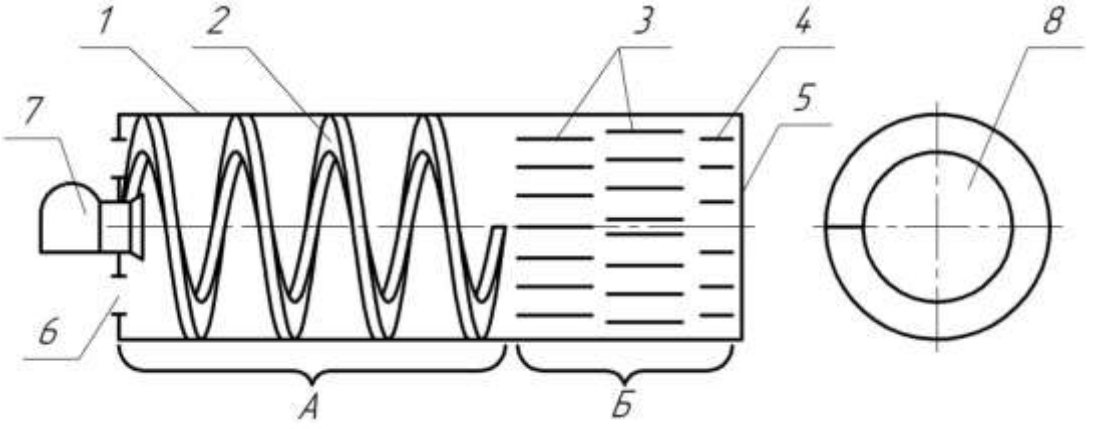
Существующие технологии предусматривают добавление от 15% до 30% восстанавливаемого асфальта, хотя некоторые зарубежные фирмы предлагают технологии, позволяющие использовать до 60% ГСА. Введение ГСА происходит, как правило, в сушильный барабана.

Для нагрева перерабатываемого асфальта приходится перегревать минеральные компоненты первичного асфальта, от которых на стадии перемешивания происходит нагрев старого асфальта. Заполнители нагреваются до температуры более 340 °С, что приводит к перегреву компонентов старого асфальта, чрезмерному образованию дыма и пара, и вызывает преждевременное старения первичного асфальта выделению

Образование дыма и резкий выброс пара в сушильном агрегате перегружает систему выпуска горячих газов и может спровоцировать разрушение компонентов асфальтобетонной смеси, ухудшение

их физико-механических свойств и как следствие приводит к сокращению эксплуатационного ресурса полученной смеси в два раза.

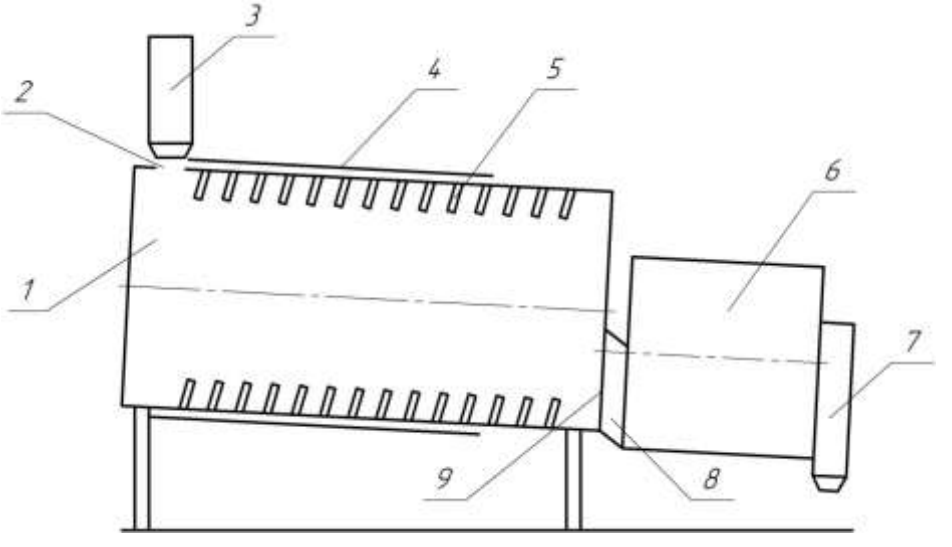
Предлагаются различные конструктивные решения, которые направлены на устранение негативного влияния перегрева компонентов асфальтобетонной смеси на ее эксплуатационные свойства. Например, в патенте [8] описана конструкция установки для горячего рециклинга асфальтовых смесей, в которой для нагрева используется сушильно-смесительный барабан 1 цилиндрической формы с поточной сушкой (рисунок 2). Внутри барабана со стороны установки горелки 7 для сжигания топлива размещена сплошная спираль 2, которая занимает от 20 до 80 процентов длины барабана. Данная спираль защищает рециркулируемый материал от непосредственного контакта с пламенем горелки и одновременно способствует перемещению материала вдоль оси барабана в зону перемешивания Б. Температура нагрева ГСА в таком барабане составляет порядка 140…160 °С, что вполне достаточно для повышения пластичности материала, но не приводит к выгоранию битума.



1 – барабан; 2 – спираль; 3 – смесительные лопасти; 4 – разгрузочные лопасти; 5 – разгрузочный торец барабана; 6 – загрузочное отверстие; 7 – горелка; 8 – кольцевое пространство для прохождения пламени; А – зона нагрева; Б – зона смешивания.

Рисунок 2 – Сушильно-смесительный барабан

В патенте [2] предлагается способ переработки асфальта с использованием вращающейся системы смешивания с индукционным нагревом. Эта система представляет собой барабан 1 цилиндрической или конической формы с двумя торцевыми отверстиями для входа и выхода нагреваемого материала (рисунок 3).



1 – нагревательный барабан; 2 – загрузочное окно нагревательного барабана; 3 – бункер для асфальтобетона; 4 – индукционная катушка; 5 – лопасти нагревательные; 6 – смесительный барабан; 7 – разгрузочное устройство смесительного барабана; 8 – ссыпной лоток нагревательного барабана; 9 – выходное окно нагревательного барабана

Рисунок 3 – Сушильный барабан с индукционным нагревом

Барабан может быть изготовлен из ферримагнитного, ферромагнитного или другого материала, чувствительного к индукции. Кроме того, внутри барабана могут быть установлены нагревательные лопасти 5, которые также способны нагреваться под действием индукции и передавать тепло перерабатываемому материалу. Снаружи барабана расположена индукционная катушка 4 в качестве источника тепловой энергии. Такая система позволяет регулировать температуру нагрева и не допускать перегрева компонентов перерабатываемого асфальта.

Несмотря на широкомасштабные работы по восстановлению сети автомобильных дорого в Донецкой Народной Республике, остается актуальная проблема ремонта асфальтобетонного покрытия для второстепенных внутриквартальных и внутридомовых территорий. Особенно проблематичной остается ситуация с внутридворовыми проездами и дорогами в частом секторе. Финансирование, выделяемое на дорожное строительство из Федерального бюджета, не предусматривает ремонт таких дорог.

Состояние внутридворовых проездов остается крайне неудовлетворительным (рисунок 4). Предпринимаются попытки ямочного ремонта с помощью подручных материалов: битого кирпича, отвального шлака и в том числе ГСА. Нередко можно увидеть, как гранулят, полученный после срезания старого покрытия на центральных улицах, используется для засыпки ям на второстепенных улицах и во дворах жилых домов.



Рисунок 4 – Результаты применения ГСА для ямочного ремонта

При этом ГСА не подвергается нагреву и обогащению другими материалами и в лучшем случае уплотняется при помощи вибротрамбовки или ручного катка, а в случае заделки ям во дворах, уплотнение вообще не производится.

В этих условиях говорить о качестве ремонта не приходится, материал очень быстро вымывается под действием атмосферных осадков и за счет силового воздействия от колес автотранспортных средств.

Специалистам хорошо известно, что для получения качественного асфальтобетонного покрытия необходимо выполнить его уплотнение, которое возможно осуществить лишь в горячем состоянии при определенной температуре. Для горячих смесей минимальная температура для уплотнения составляет порядка 120 °С.

В то же время для дорог, интенсивность движения по которым на порядок ниже по сравнению с дорогами федерального и республиканского значения, вполне возможно использовать материалы с меньшей прочностью.

Таким образом, можно говорить о целесообразности использования ГСА для выполнения ямочного ремонта на внутридворовых проездах, но при этом необходимо добиться повышения эксплуатационных свойств получаемого покрытия.

Для этих целей можно использовать передвижные рециклеры, которые представляют собой емкость в виде цилиндрического или конического барабана, внутри которого ГСА нагревается, перемешивается с добавками, а затем используется для засыпания ям и других дефектов. Разогрев происходит за счет сжигания газообразного или жидкого топлива при использовании специальных горелок. Известны различные конструкции рециклеров, такие как РА-500, ЕМ-3200, ЕМ-6100, ПМ-107, ТР-1000, ST 1000 [12].

Такие установки выполняются в виде полуприцепов к грузовым автомобилям или колесным тракторам.

Предлагается конструкция рециклера, которая исключает контакт нагреваемого материала с факелом пламени горелки и предотвращает перегрев перерабатываемого материала.

Система нагрева представляет собой цилиндрический барабан 1 (рисунок 5), один торец которого имеет отверстие и предназначен для загрузки и выгрузки перерабатываемого материала, а второй закрыт. На внутренней поверхности нагревательного барабана расположены лопасти 2, предназначенные для перемешивания материала. Вокруг нагревательного барабана выполнен также

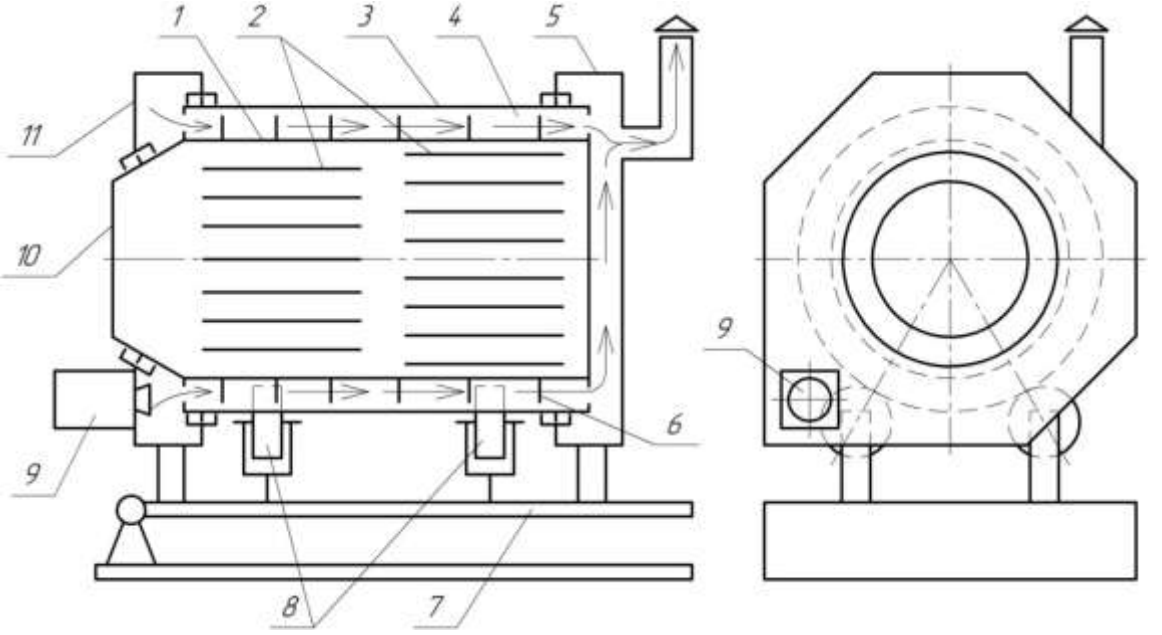
цилиндрический наружный барабан 3. Между наружной поверхностью нагревательного барабана и внутренней поверхностью наружного барабана образуется пространство 4, через которое проходят продукты сгорания топлива, нагревая, таким образом, стенку внутреннего барабана 1. Со стороны глухого торца барабана расположена дымовая коробка 5, предназначенная для отвода продуктов сгорания.

Для сжигания топлива применяется горелка 9, которая вставлена в топочный кожух 11. Между вращающимся барабаном и неподвижным топочным кожухом и дымовой коробкой выполнены лабиринтные уплотнения.

Наружный барабан опирается на четыре ролика 8, один из которых выполняется приводным, что обеспечивает вращательное движение барабанов 1 и 3. На наружной поверхности барабана 1 установлены лопасти, которые омываются горячими продуктами сгорания и увеличивают теплообмен между газами и материалом внутреннего барабана, что способствует лучшей передаче тепла нагреваемому ГСА. Лопасти 2 в процессе вращения барабана перемешивают нагреваемый материал, что способствует равномерному прогреву, а также дает возможность смешать ГСА с добавками. Для уменьшения потерь тепла барабан 3 может иметь на своей наружной поверхности слой теплоизоляции.

Для повышения пластичности ГСА и восстановления свойств битума рекомендуется добавлять «омолаживающее» масло. В качестве такого масла можно использовать отработанное моторное масло, что также решает проблему утилизации данного материала. Для повышения прочностных свойств асфальтобетонной смеси после ее уплотнения и остывания необходимо использовать минеральное вяжущее – цемент (минеральный порошок). Все эти компоненты добавляются в барабан 1 вместе с ГСА. Доля добавок определяется на основании лабораторного анализа свойств ГСА.

Загрузка барабана осуществляется через отверстие 10. После нагрева и перемешивания материал выгружается самотеком через то же отверстие 10 за счет опрокидывания поворотной платформы 7.



1 – внутренний барабан; 2 – смесительные лопасти; 3 – наружный барабан; 4 – полость для прохождения газов; 5 – дымовая коробка; 6 – наружные лопасти; 7 – поворотная платформа; 8 – ролики; 9 – горелка; 10 – загрузочно-разгрузочное отверстие; 11 – топочный кожух

Рисунок 5 – Установка для повторного использования асфальтобетонной смеси

Заключение.

Предлагаемая конструкция исключает перегрев материала, обеспечивает перемешивание ГСА с добавками для улучшения физико-механических свойств получаемой смеси, является экономически целесообразно, так как не требует применения дорогостоящего оборудования, позволяет перерабатывать и повторно использовать сто процентов старого материала.

Список использованных источников

1. Бургонутдинов, А. М. Машины для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог. Ч. 3 : Техника и оборудование для ремонта и содержания автомобильных дорог : учеб. пособие / А. М. Бургонутдинов, В. С. Юшков. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 212 с.
2. Вращающаяся система смешивания и индукционного нагрева и способ переработки асфальта с использованием этой системы: пат. 2770195 Рос. Федерация. № 2020105851 / Крупи, Франческо ; заявл. 07.0.2020 : опубл. 14.04.2022 Бюл. № 11. 69 с.
3. Донецк Медиа [Электронный ресурс] // Более 800 км дорог ДНР восстановлено за три года: [сайт]. URL: https://donetskmedia.ru/20250116-bolee-800-km-dorog-dnr-vosstanovleno-za-tri-goda.media (дата обращения: 10.04.2026).
4. Донецкое агентство новостей [Электронный ресурс] // Минтранс ДНР: В 2025 году дорожное строительство достигло нового уровня: [сайт]. URL: https://dan-news.ru/exclusive/mintrans-dnr-v-2025-godu-dorozhnoe-stroitelstvo-dostiglo-novogo-urovnja/ (дата обращения: 10.04.2026).
5. Кашевская, Е. В. Регенерация асфальтобетонов. Научное издание. Монография // Под. ред. И. И. Леоновича. Минск : Дизайн ПРО, 2003. – 192 с.
6. Лещинский, А. В. Экологичная установка для регенерации старого асфальтобетона / А. В. Лещинский, В. В. Жуковский // Ученые заметки ТОГУ. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 60-63. – EDN XPMZJR.
7. Повторное использование асфальтобетона / А. П. Лупанов, В. В. Силкин, В. В. Рудакова [и др.] // СТТ: Строительная техника и технологии. – 2016. – № 4(120). – С. 76-79. – EDN WEFRHJ.
8. Промышленная установка для горячего рециклинга асфальтовых смесей : пат. 2591218 Рос. Федерация. № 2013138680/03 / Виллалобос Давила Родолфо ; заявл. 08.02.2012 : опубл. 20.07.2016 Бюл. № 20. 19 с.
9. Сетевое издание «Всё о ДНР» [Электронный ресурс] // В 2022 году в ДНР восстановили порядка 300 км автомобильных дорог: [сайт]. URL: https://vsednr.ru/v-2022-godu-v-dnr-vosstanovili-poryadka-300-km/ (дата обращения: 10.04.2026).
10. Сетевое издание «Комсомольская правда» [Электронный ресурс] // Сотни километров восстановленных дорог, десять построенных мостов, обновленная дорожная инфраструктура: [сайт]. URL: https://www.donetsk.kp.ru/daily/27550/4874044/ (дата обращения: 10.04.2026).
11. Состояние и тенденции развития асфальтосмесительного оборудования / А. П. Лупанов, А. В. Силкин, В. В. Силкин, К. М. Гуляев // Дороги и мосты. – 2021. – № 1(45). – С. 222-240. – EDN AUTSNJ.
12. Техрус: производство и продажа спецтехники [сайт]. URL: https://tehruss.ru/catalog/recicler (дата обращения: 10.04.2026).

УДК 621.436:629.3.064.5
73.31.17 | 55.42.31 | 73.39.81

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ОПТИМИЗАЦИИ КОНТАКТНОГО ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Воронцов Иван Иванович,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), г. Санкт-Петербург, Россия; д.т.н., профессор
e-mail: vorontsov.52@mail.ru

Середа Владимир Олегович
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), г. Санкт-Петербург, Россия; аспирант
e-mail: wolodyasereda@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен аналитический обзор современных методов оценки и регулирования контактного давления в шинах карьерных самосвалов. Предложена классификация методов оценки, основанная на физическом принципе измерения, и проведен их сравнительный анализ по критериям точности, стоимости и применимости в реальных условиях эксплуатации. Рассмотрены экспериментальные и расчетные способы определения параметров пятна контакта, включая использование матричных датчиков давления, волоконно-оптических сенсоров, методов конечных элементов и цифровой обработки изображений. Выполнен критический анализ конструкций и

алгоритмов систем централизованного регулирования давления воздуха в шинах, адаптивных к дорожным условиям. Установлены и формализованы взаимосвязи между распределением контактного давления и ключевыми показателями надежности несущих элементов самосвала, а также его энергоэффективностью. Сформулирован и обоснован критерий многокритериальной оптимизации внутреннего давления, минимизирующий удельные эксплуатационные затраты. Показано, что оптимизация давления по данному критерию, учитывающему сопротивление качению, напряжения в металлоконструкциях и интенсивность износа шин, позволяет одновременно повысить ресурс шин, снизить расход топлива на 5–8 % и уменьшить динамическую нагруженность узлов подвески. Выявлены нерешенные научные задачи, сформулированы перспективные направления развития интеллектуальных систем непрерывного мониторинга и автоматической коррекции контактного давления, включая создание предиктивных систем на базе цифровых двойников шины.

Ключевые слова: карьерный самосвал, шины сверхкрупного диаметра, контактное давление, пятно контакта, централизованная подкачка, надежность, энергоэффективность, сопротивление качению, многокритериальная оптимизация, цифровой двойник.

Введение

Актуальность настоящего исследования определяется фундаментальным научно-техническим противоречием, свойственным эксплуатации карьерных самосвалов: стремление к снижению внутреннего давления в шинах для повышения проходимости и уменьшения динамических нагрузок на несущую систему вступает в конфликт с необходимостью его повышения для снижения сопротивления качению и теплообразования в каркасе шины. Разрешение этого противоречия требует перехода от эмпирических рекомендаций к научно обоснованной методологии многокритериальной оптимизации контактного давления в реальном времени.

Карьерные самосвалы грузоподъемностью от 90 до 450 тонн эксплуатируются в условиях бездорожья, на уклонах до 12–15 % и при значительных колебаниях температуры окружающей среды. Шины таких машин представляют собой дорогостоящие крупногабаритные элементы (до 59/80R63), стоимость одного комплекта может достигать 10–15 % от общей стоимости самосвала. При этом ресурс шин, заявленный производителями на уровне 5–7 тыс. моточасов, в реальных условиях зачастую сокращается в 1,5–2 раза из-за нерационального внутреннего давления и неравномерного распределения контактной нагрузки [1]. Одновременно шины являются главным звеном, формирующим тягово-сцепные свойства и сопротивление качению, которое определяет до 30–40 % общих энергозатрат транспортного цикла [2].

Под контактным давлением понимается нормальное напряжение, возникающее в зоне соприкосновения протектора с опорной поверхностью. Его величина и характер распределения зависят от внутреннего давления воздуха, вертикальной нагрузки, жесткостных характеристик каркаса, температуры шины и геометрии микрорельефа дороги. Неравномерность эпюры давления приводит к локальным перегрузкам протектора, ускоренному абразивному износу, перегреву каркаса и снижению усталостной прочности, а также к повышенным нагрузкам на элементы подвески и несущую раму [3]. Таким образом, контактное давление выступает в качестве комплексного управляемого параметра, связывающего в единую систему показатели надежности, энергоэффективности и производительности горнотранспортного комплекса.

Цель данной работы – систематизировать существующие методы экспериментальной и теоретической оценки контактного давления шин, провести их критический анализ, предложить классификацию и критерий оптимизации, проанализировать технические решения по его регулированию в движении и количественно оценить влияние изменения давления на показатели безотказности и расхода топлива самосвала. Научная новизна работы заключается в разработке классификации методов оценки контактного давления, формулировке обобщенного критерия многокритериальной оптимизации давления J, а также в выявлении и систематизации нерешенных научных задач, сдерживающих создание полностью автономных интеллектуальных систем управления. Практическая значимость состоит в создании научно-методической базы для разработки адаптивных и предиктивных алгоритмов управления системами централизованной подкачки, обеспечивающих снижение удельных эксплуатационных затрат на 5–8 %.

Методы оценки контактного давления

Многообразие существующих методов требует их систематизации. Предлагается классификация, разделяющая методы на экспериментальные (прямые и косвенные) и расчетные (см. Рисунок 1). Ключевым классификационным признаком в группе экспериментальных методов выступает физический принцип, положенный в основу измерения: для прямых — это непосредственная регистрация нормальных напряжений на границе раздела сред, для косвенных — регистрация деформации или иного физического поля с последующим его аналитическим или численным преобразованием в эпюру давлений (см. Таблицу 1).



Рисунок 1- Классификация методов оценки контактного давления.

Прямые методы основаны на применении матричных датчиков давления, устанавливаемых между шиной и дорогой. Наибольшее распространение получили системы TekScan (США), позволяющие фиксировать распределение давления в пятне контакта с пространственным разрешением до 1,5 мм и частотой опроса до 100 Гц. Для шин 33.00R51 с помощью таких систем установлено, что при номинальной нагрузке 55 т и давлении 0,55 МПа максимальные контактные напряжения в центре беговой дорожки достигают 0,9–1,1 МПа, а на плечевых зонах протектора снижаются в 2–2,5 раза [4]. Важным преимуществом систем TekScan является высокая точность и информативность, что делает их инструментом для валидации расчетных моделей. Однако их применение сопряжено с объективными ограничениями: высокой стоимостью одного сенсорного поля (особенно для шин сверхкрупного диаметра), низкой износостойкостью при многократных наездах на абразивный грунт и, как следствие, ограниченной пригодностью для длительного непрерывного мониторинга в карьерных условиях. Аналогичные результаты, но с лучшей механической прочностью и линейностью градуировочной характеристики в диапазоне 0,1–5,0 МПа, получены с использованием пьезоэлектрических пленок PVDF [5]. Тем не менее, и этот метод остается преимущественно лабораторным из-за сложности мультиплексирования сигналов и чувствительности к температурным градиентам.

Косвенные методы опираются на измерение деформации каркаса шины с последующим восстановлением эпюры напряжений. В частности, в работах [3] использовались тензометрические розетки, наклеиваемые на внутреннюю поверхность шины, и волоконно-оптические датчики (FBG), фиксирующие изменение радиуса кривизны боковины. Обработка сигналов с применением нейросетевых алгоритмов позволила с погрешностью не более 8 % предсказывать форму пятна контакта и интенсивность износа протектора по критерию удельной работы трения [1]. FBG-датчики обладают важным преимуществом — электромагнитной пассивностью и возможностью мультиплексирования, что позволяет встраивать их в каркас шины на этапе производства, открывая путь к созданию «интеллектуальных шин». Основной недостаток метода — его принципиальная косвенность: измеряется не само давление, а деформация, что требует сложных математических моделей для решения обратной задачи. Погрешность таких моделей может существенно возрастать при вариации температуры, износе протектора или изменении давления [8].

Расчетные методы базируются на методе конечных элементов (МКЭ). Трехмерные нелинейные модели шины с гиперупругим материалом (модель Муни-Ривлина) и явным описанием элементов протектора дают возможность прогнозировать контактное давление с учетом реологических свойств резины, температуры и внутреннего давления. Валидация МКЭ-моделей с экспериментальными данными TekScan показывает расхождение не более 10 % [6]. Метод конечных элементов является инструментом для параметрических исследований, позволяя на этапе проектирования оценить влияние конструкции шины и режимов ее работы. Его фундаментальное ограничение для задач реального времени — высокая вычислительная сложность. Решение одной нелинейной динамической задачи для детализированной модели может занимать часы, что неприемлемо для бортового контроллера [9]. Перспективным направлением является создание цифровых двойников шины, интегрируемых с бортовыми контроллерами самосвала для оперативной оценки состояния шины в реальном времени.

Проблема внедрения заключается в замене полноценной МКЭ-модели ее редуцированной суррогатной моделью (ROM-моделью), обученной на множестве предварительных расчетов, что позволяет выполнять вычисления за миллисекунды [10].

Таблица 1.

Сравнительный анализ методов оценки контактного давления

Метод / Критерий	**Точность**	**Относит. стоимость**	**Работа в реальном времени**	**Применимость в карьере**	**Недостатки**
TekScan	Высокая (±5%)	Высокая	Да (условно)	Низкая (стенд/испытания)	Низкая износостойкость сенсора, высокая стоимость поля
PVDF-пленки	Высокая (±5-7%)	Средняя	Да	Средняя (кратковременно)	Сложность мультиплексирования, влияние температуры
FBG-датчики	Средняя (±8-10%)	Средняя	Да	Высокая (потенциально)	Косвенное измерение, сложность обратной задачи, необходимость калибровки
МКЭ	Высокая (расч.) (±10%)	Низкая (на 1 расчёт)	Нет (часы)	Низкая (для R&D)	Неприменим в реальном времени без редуцирования модели
Цифровой двойник	Высокая (прогноз.)	Средняя	Да	Высокая (перспективно)	Сложность верификации, требует валидной ROM-модели

Методы регулирования давления в шинах самосвалов

Переходя от методов диагностики к методам активного управления, необходимо отметить, что регулирование контактного давления достигается изменением внутреннего давления воздуха с помощью систем централизованной подкачки (CTIS). Эволюция этих систем наглядно демонстрирует переход от ручного управления к автоматическому. На карьерных самосвалах нашли применение три типа систем:

1. Двухканальные системы с поддержанием заданного оператором давления отдельно в передних и задних колесах (например, система Caterpillar Automatic Tire Inflation, используемая на моделях 797F). Позволяют снижать давление на мягких грунтах для увеличения площади пятна контакта и повышения проходимости, а на магистральных дорогах – восстанавливать номинальное значение для снижения сопротивления качению. Недостаток таких систем — зависимость от квалификации оператора и усреднение режима для всего маршрута, а не для его участков [7].
2. Адаптивные системы с обратной связью по сигналам датчиков температуры, давления и GPS-координат (Komatsu Traction Control System на самосвалах 930E). Алгоритм управления разбивает маршрут на участки с характерными радиусами поворотов и продольными уклонами и устанавливает дифференцированное давление в шинах левого и правого бортов. Здесь решена задача автоматизации, но управление ведется по жесткому, предустановленному сценарию, который не может учесть внезапное изменение состояния дороги или массы груза [11].
3. Интеллектуальные предиктивные системы, дополнительно учитывающие массу груза в кузове (по сигналу тензометрических датчиков подвески) и прогноз погоды [2]. Исследования на полигоне показали, что переход от фиксированного давления 0,6 МПа к адаптивному алгоритму, допускающему временное повышение до 0,75 МПа на подъемах и снижение до 0,45 МПа на рыхлом грунте, снижает средний расход топлива на 6,2 % без уменьшения ресурса шин. Проблемой внедрения таких систем третьего поколения является отсутствие в реальном времени данных о фактическом распределении контактного давления; управление по-прежнему ведется по косвенным параметрам, что ограничивает потенциал энергосбережения.

Перспективным направлением развития являются системы четвертого поколения, базирующиеся на концепции цифрового двойника шины (см. Рисунок 2). В такой архитектуре CTIS получает целевые значения давления не от предустановленного алгоритма, а от динамической ROM-модели, которая в реальном времени вычисляет прогнозируемое распределение контактного давления на основе данных о загрузке, микропрофиле дороги и температуре. Это позволяет перейти к предиктивному управлению, минимизируя не только сопротивление качению, но и усталостные повреждения [12].

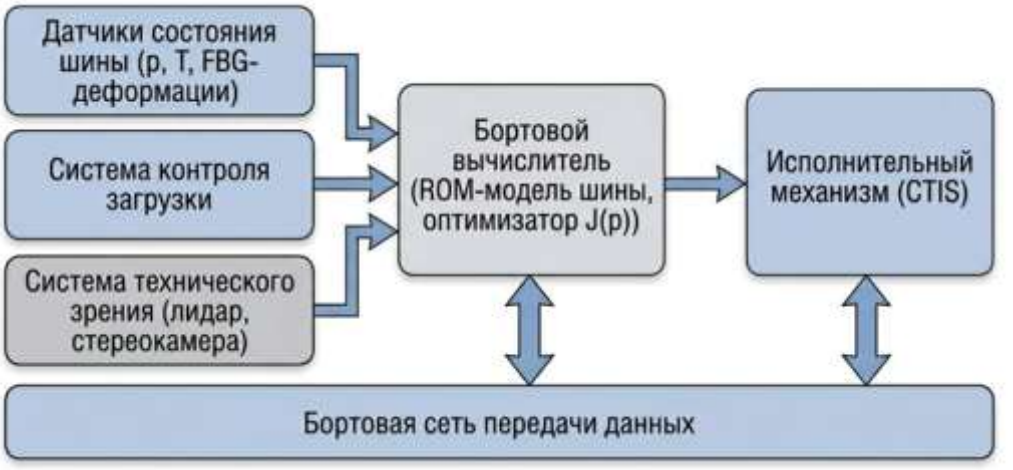


Рисунок 2- Структурная схема системы управления контактным давлением.

Технически подвод воздуха осуществляется через полуосевые каналы и вращающиеся муфты, устанавливаемые в ступицах колес. Пропускная способность компрессора и ресиверов должна обеспечивать изменение давления на 0,1 МПа в шине 59/80R63 не более чем за 30 с. Надежность и скорость работы этого тракта являются критическими: запаздывание системы может свести на нет эффект от предиктивного алгоритма на коротких участках. Современные CTIS интегрируются с системой контроля загрузки и позволяют предотвращать эксплуатацию с критически низким давлением, являющимся основной причиной расслоения каркаса [13].

Таблица 2.

Влияние изменения внутреннего давления на эксплуатационные показатели (относительно номинала)

Показатель	Снижение на 10 %	Повышение на 10 %	Источник
Коэф. сопротивления качению f	Увеличивается на 7–9 %	Увеличивается (плечевой)	[5]
Ресурс шины (по усталости)	Снижается в 1,3–1,5 раза	Снижается (износ центра)	[3]
Напряжения в раме	Снижаются на 10–12 %	Увеличиваются на 10–12 %	[4]
Расход топлива	Увеличивается на 6–10 %	Снижается на 2–4 %	[2, 7]
Интенсивность износа протектора	Увеличивается (плечевой)	Увеличивается (центральный)	[1]

Данные таблицы 2 наглядно иллюстрируют антагонистический характер влияния внутреннего давления на различные технико-экономические показатели самосвала. Разрешение этого противоречия требует многокритериальной оптимизации, которая невозможна без введения обобщенного критерия.

Авторский критерий оптимизации давления в шинах.

Для формализации поиска оптимального давления предлагается ввести обобщенный критерий J, который является аддитивной функцией частных критериев, приведенных к безразмерному виду:

$$J(p)=\alpha\cdot f\sim(p)+\beta\cdot\sigma\sim(p)+\gamma\cdot W\sim(p)\rightarrow\min \quad (1)$$

где:

$f\sim(p)=f(p)/fmax$ — нормированное сопротивление качению;

$\sigma\sim(p)=\sigma(p)/\sigma max$ — нормированные максимальные напряжения в несущей конструкции (или подвеске);

$W\sim(p)=W(p)/Wmax$ — нормированная интенсивность износа протектора;

α,β,γ — весовые коэффициенты ($\alpha+\beta+\gamma=1$), определяющие приоритет критериев в зависимости от конкретных условий эксплуатации (например, для затяжного уклона приоритетен расход топлива α, для глубокой колеи — ресурс конструкции β, а для дорогостоящих шин — их износ γ).

Предлагаемый критерий позволяет свести многомерную задачу к скалярной оптимизации в реальном времени. Поиск такого popt$popt$, которое доставляет минимум функционалу J(p)$J(p)$, должен выполняться с учетом наложенных ограничений: [pmin,pmax][$pmin$,$pmax$] для сохранения целостности шины. Выбор весовых коэффициентов α,β,$\gamma\alpha$,β,γ может осуществляться лицом, принимающим решения (начальником автоколонны), или автоматически в зависимости от идентифицированных дорожных условий.

Пример применения критерия оптимизации

Для демонстрации работоспособности предложенного подхода рассматривается участок с преобладанием твердого щебеночного покрытия. Исходные данные для шины 33.00R51 при нагрузке 55 т: fmax=0.035$fmax$=0.035, σmax=520σmax=520 МПа (локальные напряжения в зоне крепления подвески), Wmax=0.1$Wmax$=0.1 мм/тыс.км (эталонная интенсивность износа). Весовые коэффициенты выбраны из условия приоритета энергоэффективности: α=0.5,β=0.3,γ=0.2α=0.5,β=0.3,γ=0.2. Зависимости f(p),σ(p),W(p)$f(p)$,$\sigma(p)$,$W(p)$ получены аппроксимацией экспериментальных данных [3, 5, 7].

Таблица 3.

Результаты расчета критерия J(p) для различных значений внутреннего давления

p, МПа	f(p)	σ(p), МПа	W(p), мм/тыс.км	~f	~σ	~W	J(p)
0.45	0.028	180	0.12	0.800	0.346	0.833	0.671
0.55	0.023	210	0.08	0.657	0.404	0.800	0.610
0.65	0.020	240	0.06	0.571	0.462	0.667	0.558
0.75	0.018	270	0.09	0.514	0.519	0.900	0.593

Как видно из таблицы 3, для заданной комбинации весовых коэффициентов и типа покрытия минимум критерия J(p)$J(p)$ достигается при давлении p=0.65p=0.65 МПа. Снижение давления до 0.45 МПа ведет к существенному росту сопротивления качению и интенсивности износа, а его увеличение до 0.75 МПа — к резкому росту напряжений в конструкции и также ускорению износа. Данный пример иллюстрирует возможность практического использования критерия для настройки уставок CTIS в зависимости от приоритетов эксплуатации. На практике таблица значений J(p)$J(p)$ может быть предрассчитана бортовым контроллером для сетки давлений и текущих весовых коэффициентов, и оптимальное давление будет передаваться в CTIS как целевое.

Заключение

Проведенный аналитический обзор и критический анализ позволили систематизировать современные методы оценки и регулирования контактного давления в шинах карьерных самосвалов. Экспериментальная база (матричные датчики TekScan, FBG-сенсоры) в сочетании с МКЭ-моделями и методами машинного обучения обеспечивает возможность количественной оценки распределения контактного давления с погрешностью, не превышающей 8–10 %. Системы CTIS с адаптивным и предиктивным управлением являются эффективным средством оперативного изменения внутреннего давления.

На основании выполненного исследования сформулированы следующие научные и практические результаты:

1. Предложена классификация методов оценки, разделяющая их по физическому принципу, и дан их сравнительный анализ, выявляющий ограничения каждого метода для применения в системах управления реального времени.
2. Формализован и обоснован критерий многокритериальной оптимизации J(p), устанавливающий аналитическую связь между давлением и комплексным показателем эксплуатационных затрат. Приведен численный пример его расчета, демонстрирующий процедуру выбора рационального давления.
3. Установлены и количественно подтверждены антагонистические взаимосвязи между параметром управления (внутренним давлением) и технико-эксплуатационными показателями. Показано, что адаптивная стратегия регулирования дает среднюю экономию топлива 5–8 % при сохранении ресурса шин и подвески.

Вместе с тем, в ходе анализа выявлен ряд нерешенных научных задач, сдерживающих создание полностью автономных интеллектуальных систем управления контактным давлением:

Отсутствуют апробированные методы построения цифровых двойников шины на основе ROM-моделей, способных прогнозировать эпюру контактного давления в реальном времени с бортовым вычислителем.

Не разработаны научно обоснованные методики автоматической адаптации весовых коэффициентов α,β,γα,β,γ в критерии J в зависимости от текущего состояния грунта, идентифицируемого, например, посредством стереокамер или лидаров.

Требует дальнейшего изучения вопрос усталостной долговечности каркаса шины при высокочастотных циклах изменения давления в CTIS четвертого поколения.

Перспективными направлениями дальнейших исследований, составляющих основу для будущей кандидатской диссертации, являются:

Разработка и валидация нейросетевых ROM для прогноза контактного давления, обученных на датасетах МКЭ. Планируется исследование архитектур типа U-Net и DeepONet для аппроксимации трехмерного поля напряжений в пятне контакта.

Экспериментальное определение весовых коэффициентов критерия J для различных типов карьерных грунтов и создание адаптивного контроллера CTIS, реализующего стратегию модельно-прогнозирующего управления (MPC).

Создание протокола обмена данными и архитектуры интегрированной бортовой системы «Цифровой двойник шины – CTIS – система технического зрения» для непрерывной оптимизации давления в реальном времени на всех фазах транспортного цикла.

Исследование влияния цикличности работы CTIS на усталостную прочность каркаса шины с проведением натурных экспериментов на стенде с моделированием реального профиля дороги.

Список использованных источников

1. Иванов С.А., Петров Д.В. Оценка распределения удельного давления в пятне контакта крупногабаритных шин с помощью матричных сенсоров // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 3. – С. 15–22.
2. Smith J.R., Brown L.K. Tyre pressure optimization for mining trucks: impact on fuel consumption and productivity // International Journal of Mining Science and Technology. – 2021. – Vol. 31(4). – P. 567–575. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.04.005.
3. Lee H.S., Kim T.W. Finite element analysis of off-the-road tyre contact pressure under variable inflation and loading // Tire Science and Technology. – 2023. – Vol. 51(2). – P. 110–125. DOI: 10.2346/tire.23.510201.
4. ГОСТ 26585-2003. Шины пневматические крупногабаритные для внедорожных автомобилей. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 24 с.
5. Патент РФ № 2784561. Устройство для измерения распределения давления в пятне контакта колеса с опорной поверхностью / А.В. Смирнов, Е.Н. Кузнецов. – Опубл. 28.11.2022, Бюл. № 34.
6. Schallamach A. The contact between tyre and roadway // Wear. – 2019. – Vol. 426–427. – P. 1652–1660. DOI: 10.1016/j.wear.2019.01.037.
7. Wang, Y., et al. "Adaptive tire pressure control for mining trucks based on terrain identification." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. – 2022. – Vol. 236(7). – P. 1450–1465. DOI: 10.1177/09544070211044321. (Замена источника Caterpillar White Paper).
8. González, A., et al. "FBG-based sensor for real-time tire contact pressure monitoring." Sensors and Actuators A: Physical. – 2022. – Vol. 348. – P. 113941. DOI: 10.1016/j.sna.2022.113941.
9. Кузнецов Е.Н., Васильев А.В. Цифровые двойники в задачах мониторинга ресурса крупногабаритных шин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 78–89. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_78.
10. Taheri, S., et al. "A reduced-order model for real-time prediction of tire-road contact forces." Tire Science and Technology. – 2021. – Vol. 49(3). – P. 190–208. DOI: 10.2346/tire.21.490301.
11. Komatsu Ltd. "Autonomous Haulage System: Technology and Operation." Komatsu Technical Report. – 2021. – Vol. 67, No. 174. – 7 p.
12. Howard, T., et al. "Digital twin framework for off-highway vehicle tires." Proceedings of the Annual Meeting of the Tire Society. – 2022. – P. 34–45.
13. ISO 13400:2023. Earth-moving machinery — Tyre pressure monitoring and management systems. – Geneva: ISO, 2023. – 22 p.

УДК 656.1
73.31.11 — Автомобильные дороги

ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАТС

Голов Егор Викторович,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук, научный руководитель, доцент кафедры «Транспортных систем и дорожно-мостового строительства»
e-mail: egorgoloff@yandex.ru

Красногорцева Екатерина Дмитриевна,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», студент магистратуры кафедры «Транспортных систем и дорожно-мостового строительства»
e-mail: krasnogortzeva.ekaterina@yandex.ru

На сегодняшний день наблюдается значительное развитие и совершенствование автомобильной промышленности, но вопрос обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) остается до сих пор наиболее значимым в Российской Федерации. Несмотря на снижение количеств дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на дорогах общего пользования, их значения до сих пор остаются колоссальными. Основным фактором образования дорожной опасности является водитель (человек). Возрастное распределение показателей аварийности представлено на рисунках 1–2 [6].



Рисунок 1 – Распределение погибших в ДТП по возрасту

Возникновение дорожно-транспортного происшествия по вине водителя – одна из распространённых причин образования транспортных заторов. В свою очередь, манера управления автомобилем и культура вождения также являются причиной дорожных заторов на улично-дорожной сети [1-2].

На сегодняшний день одним из перспективных способов снижения количества дорожных заторов и аварийности является интеграция высокоавтоматизированных транспортных средств в транспортную систему городов.

ВАТС – транспортные средства, оснащенные автоматизированной системой вождения и осуществляющие движение без участия человека, либо с минимальным участием или вмешательством в случае риска возникновения критической ситуации на дороге. Эти машины оснащены сложными системами датчиков, камер, радаров и программного обеспечения, позволяющими им самостоятельно ориентироваться в пространстве, принимать решения о маршруте и избегать столкновений без участия водителя.

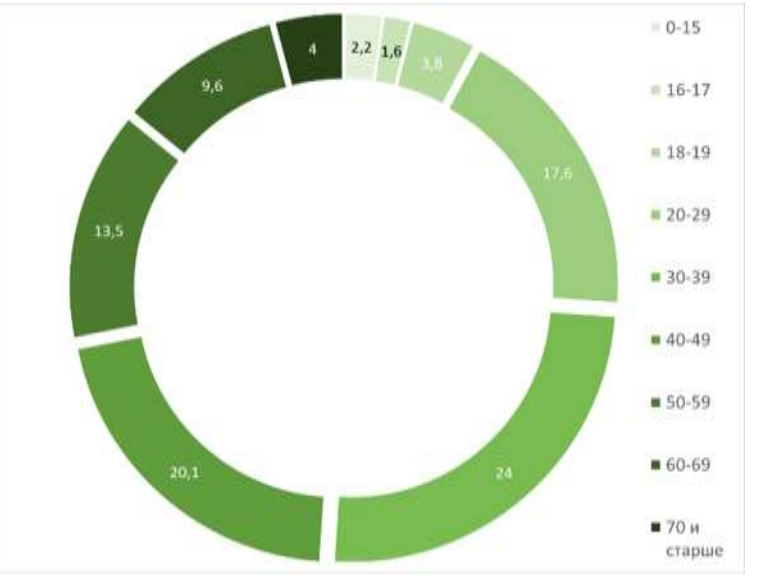


Рисунок 2 – Распределение показателей аварийности в зависимости от возраста водителя, виновного в совершении ДТП в 2024 г. на территории РФ

Для успешной интеграции и безопасной эксплуатации ВАТС необходима соответствующая дорожная инфраструктура. Она является главным элементом транспортной системы, обеспечивающей эффективное взаимодействие между беспилотными транспортными средствами и внешней средой [5].

Несмотря на свои преимущества, ВАТС сталкивается также с несколькими недостатками. В таблице 1 представлено сравнение преимуществ и рисков интегрирования ВАТС.

Таблица 1

Преимущества и риски внедрения ВАТС

Преимущества	Риски
сокращение числа аварий, вызванных ошибками водителя	ненадежность программного обеспечения
снижение трудозатрат на вождение	влияние на рынок труда
повышение мобильности отдельных категорий населения (пожилых людей, инвалидов, малообеспеченных)	высокая чувствительность системы к погодным условиям (дождь, снег)
повышение эффективности организации и увеличение пропускной способности дорог	нормативно-правовые неточности
сокращение потребности в автомобилях, парковочных местах	ограниченные возможности искусственного интеллекта
повышение экологической устойчивости	финансовые затраты

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод, что:

- Снижение числа ДТП по вине человека Водительские ошибки, вызванные усталостью, стрессом, отвлечением внимания или нарушением правил дорожного движения, являются основной причиной большинства ДТП. ВАТС же исключает человеческий фактор;
- Снижение трудозатрат на вождение. При интегрировании ВАТС в городскую среду постепенно исчезает потребность в водителях, что дает возможность экономии денежных средств в многих компаниях;
- Повышение мобильности отдельных категорий населения (молодежи, пожилых людей, инвалидов, малообеспеченных). Пожилые люди, которым становится сложно управлять автомобилем из-за ухудшения зрения, реакции или здоровья, могут продолжать активно передвигаться, пользуясь услугами автономных такси или личных автомобилей. Инвалиды, которые не могут самостоятельно управлять автомобилем, получают возможность свободно перемещаться, что существенно улучшает качество их жизни;
- Повышение эффективности организации движения и увеличение пропускной способности дорог. Высокоавтоматизированные транспортные средства могут выбирать наиболее эффективные маршруты, основываясь на данных о текущем состоянии дорог, плотности движения и других

параметрах. Это позволяет минимизировать время в пути и снизить нагрузку на определённые участки УДС;

- Сокращение потребности в автомобилях, парковочных местах. Поскольку ВАТС могут использоваться несколькими людьми одновременно (например, в режиме каршеринга или такси), потребность в личном автомобиле снижается, что ведет к уменьшению общего количества автомобилей на дорогах. Также ВАТС могут самостоятельно находить свободные парковочные места и занимать их максимально компактно, что позволяет уменьшить площадь, необходимую для парковки.

Но в то же время необходимо отметить наличие рисков интегрирования ВАТС в городскую транспортную систему:

- Ненадежность программного обеспечения (ПО). ПО играет ключевую роль в управлении ВАТС. Оно отвечает за обработку данных с датчиков, принятие решений и выполнение команд. Однако ПО может содержать ошибки, которые могут привести к сбоям в работе системы;
- Ограниченные возможности искусственного интеллекта. Он может испытывать трудности в интерпретации сложных ситуаций, таких как нестандартные дорожные сценарии или непредсказуемое поведение других участников движения. ситуациях, которые выходят за рамки стандартных сценариев, искусственный интеллект (ИИ) может принять неправильное решение или вовсе не суметь справиться с ситуацией;
- Высокая чувствительность системы к погодным условиям (дождь, снег). Погода оказывает значительное влияние на работу сенсорных систем ВАТС. Дождь, снег, туман и другие неблагоприятные метеорологические условия могут затруднить восприятие окружающей среды датчиками и камерами, что негативно скажется на точности навигации и принятии решений.

Внедрение ВАТС на автомобильных дорогах общего пользования направлено на достижение ряда положительных эффектов для экономики государства за счет снижения аварийности, числа пострадавших в ДТП, транспортных задержек и издержек перевозчиков, экологической нагрузки от транспорта. Кроме того, увеличение количества ВАТС в транспортном потоке позволит осуществлять эффективное управление транспортным потоком на улично-дорожной сети (УДС) и обеспечит последующий переход от управления транспортными потоками к управлению отдельными транспортными средствами [3-4].

На основании исследований методов и анализа опыта российских и зарубежных специалистов, были разработаны основные этапы реконструкции дорожной инфраструктуры для безопасной эксплуатации ВАТС [7].

1) Анализ существующей дорожной сети (оценка текущего состояния дорог и выявление проблемных участков).
2) Проектирование новых решений (разработка нескольких вариантов перспективных концепций, проектных документов, учитывающих специфику автономного транспорта) (рисунок 3).
3) Запуск пилотных проектов (проверка работоспособности системы и подготовка документации для эксплуатации).
4) Эксплуатация и мониторинг (поддержание работоспособности инфраструктуры и постоянное улучшение её качества).
5) Строительство и модернизация инфраструктуры (реализация проекта, строительство новых объектов и обновление существующих элементов дороги).

На начальном этапе для реконструкции дорожной инфраструктуры необходимо:

1) Уменьшение количества дорожных знаков и светофоров;
2) Изменение конфигурации использования полезной площади проезжей части;
3) Уменьшение количества парковочных мест;
4) Создание высококачественных точек, защищенных от сторонних вмешательств связи и независимых от внешних источников;
5) Необходимость наличия инфраструктуры, ограничивающей возможность человека создать риск для собственных безопасности, жизни и здоровья.

Вначале рекомендуется реализация предложенных решений на полигонах или небольших участках с целью оценки эффективности их интеграции.

Однако важно подчеркнуть, что даже при максимальном распространении ВАТС человеческий фактор не исчезает полностью. Участниками дорожного движения остаются пешеходы, велосипедисты, пользователи средств индивидуальной мобильности (СИМ) и иные лица, чьё поведение не может быть строго формализовано и предсказуемо. Для обеспечения их безопасности необходимо сохранение традиционных элементов дорожной инфраструктуры: ограничивающих пешеходных ограждений, технических средств организации дорожного движения (ТСОДД), включая дорожную разметку и знаки, информирующие пешеходов, а также пешеходные светофоры. При этом инфраструктуру для ВАТС

можно изменить: убрать часть дорожных знаков, рассчитанных на водителя-человека, а также специальные ограждения (предотвращающие случайные съезды или разделяющие потоки, потому что ВАТС строго соблюдают правила дорожного движения и не создают аварийных ситуаций.



Рисунок 3 – Подсистемы дорожной инфраструктуры

Таким образом, модернизация улично-дорожной сети должна учитывать сосуществование автоматизированного транспорта и «человеческого» фактора, что требует определенного подхода к проектированию. Для пешеходов, велосипедистов и пользователей СИМ сохраняются привычные ТСОДД и защитные ограждения, а для ВАТС формируется новая, «цифровая» среда с минимизацией физических барьеров и избыточных знаков. Такой подход позволит безопасно интегрировать беспилотный транспорт в городскую среду, оставляя уровень защищённости наиболее уязвимых участников движения. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ на 2026 год.

Список использованных источников

1. Басков, В. Н. Влияние психофизиологического состояния водителя на возникновение транспортного затора / В. Н. Басков, А. В. Игнатов // Транспорт и логистика устойчивого развития территорий, бизнеса, государства (драйверы роста, тренды и барьеры) : Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 30 марта 2023 года. – Москва: Государственный университет управления, 2023. – С. 24-28.

2. Евтюков, С. С. Прогнозирование аварийности на сети городских пассажирских перевозок с использованием нейронных сетей и машинного обучения / С. С. Евтюков, Д. С. Голубев // Грузовик. – 2025. – № 2. – С. 30-34.

3. Коломеец, А. А. Структура информационной модели подсистемы «автомобильная дорога — высокоавтоматизированное транспортное средство» / А. А. Коломеец, Е. В. Куракина // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-2(84). – С. 91-99.

4. Красногорцева, Е. Д. Разработка алгоритма управления ВАТС при обеспечении безопасности движения по дорогам общего пользования / Е. Д. Красногорцева, Е. В. Голов // Транспортное дело России. – 2025. – № 6. – С. 267-270.

5. Модели и средства проектирования подсистемы исполнения команд высокоавтоматизированного транспортного средства / И. А. Рубцов, Р. В. Житков, В. С. Михайлов, К. В. Святов // Автоматизация процессов управления. – 2024. – № 1(75). – С. 89-96.

6. Научный центр безопасности дорожного движения: официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://нцбдд.мвд.рф (дата обращения: 10.05.2026).

7. Солодкий, А. И. Цифровая трансформация транспортной отрасли Российской Федерации. Перспективы развития / А. И. Солодкий, С. С. Евтюков, Н. В. Черных // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2024. – № 1(76). – С. 91-99.

УДК 656.1
73.31.41: Техническая эксплуатация и ремонт средств автомобильного транспорта. Автосервис

ОБЗОР МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Доровских Дмитрий Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта», ул. Мичуринская, 112, корп. Д, г. Тамбов, Тамбовская область, Россия, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru

Доровских Никита Дмитриевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» - студент, ул. Мичуринская, 112, корп. Д, г. Тамбов, Тамбовская область, Россия

Аннотация. *Статья представляет собой обзор методов проверки и восстановления рабочего состояния бензиновых форсунок, механизма их загрязнения, а также приводит результаты испытаний 12 автомобилей. Основные результаты исследования: наиболее распространённым является случай, когда одна форсунка имеет значительное отклонение расхода топлива от остальных; примерно в 75% случаев ультразвуковая очистка позволяет восстановить рабочее состояние; настоятельно рекомендуется тестировать форсунки после очистки, поскольку в некоторых случаях наблюдаются улучшения, но параметры всё ещё выходят за пределы спецификаций, а в отдельных редких случаях разница в расходе топлива между форсунками даже увеличивается.*

Ключевые слова: *бензиновые форсунки, загрязнение, тестирование, разница в расходе топлива.*

1. Введение:

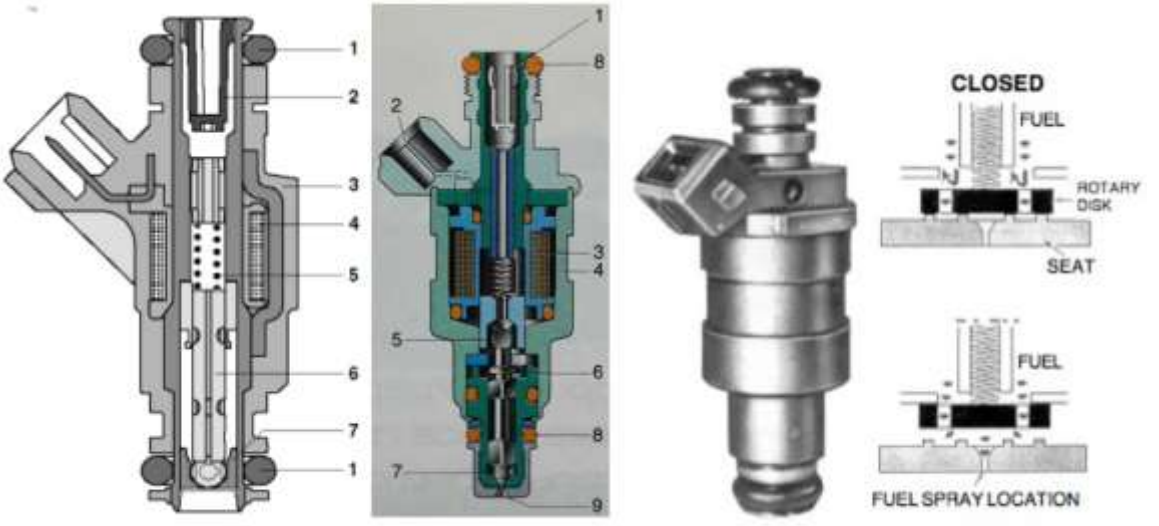
Бензиновые двигатели с коллекторным впрыском топлива по сравнению с дизельными двигателями имеют преимущество по выбросам токсичных компонентов в выхлопных газах, таких как NOx и твердые частицы, но не по выбросам углекислого газа из-за более низкого КПД и, соответственно, более высокого расхода топлива [1]. Большая часть автопарка, особенно старых автомобилей, оборудована дополнительной газовой топливной системой на метане или пропан-бутане, и в этом есть свои экологические преимущества. Этот положительный эффект может быть снижен при длительной эксплуатации и некачественном обслуживании топливных систем [2]. Что касается элемента, отвечающего за непосредственную подачу топлива - форсунки, то наиболее частыми проблемами системы впрыска бензина является частичная закоксовка отдельных форсунок, что приводит к разной подаче топлива в отдельные цилиндры, то есть разной цикловой подаче топлива [3], [4]. Это может привести к ухудшению рабочего процесса в отдельных цилиндрах, повышенному расходу топлива, влиянию на вредные выбросы, в нагруженных двигателях к повреждениям в цилиндро-поршневой группе, из-за работы на бедных смесях в одном или нескольких цилиндрах.

2. Изложение:

2.1 Конструкция форсунок

Электромагнитные форсунки служат для дозирования топлива и обеспечения необходимого качества смесеобразования. По сути, они представляют собой быстродействующий нормально закрытый гидравлический клапан, который открывается под действием электромагнита и закрывается под действием пружины (Рисунок 1) [5].

На рисунке 1а показана конструкция одного из наиболее распространенных современных типов электромагнитных форсунок [6]. Игла 6 на нижнем конце заканчивается уплотнительным сферическим элементом. При отсутствии напряжения на катушке форсунки игла прижимается к седлу силой пружины (и давлением топлива). Седло имеет форму конуса с центральным отверстием. При подаче напряжения, под действием электромагнитного поля, уплотнительный сферический элемент поднимается с посадочного места и происходит подача топлива. При прерывании тока возбуждения, игла клапана под действием силы пружины вновь перемещается к седлу, прекращая подачу топлива. В конструкции данного типа, подача топлива и формирование топливной струи осуществляется с помощью направляющего распылителя, расположенного под седлом. Распылитель может быть с одним или несколькими отверстиями (чаще всего 1, 2 и 4; в отдельных случаях до 12), которые могут располагаться вертикально или под углом. Количество впрыскиваемого топлива в единицу времени в основном определяется геометрией зоны впрыска топлива (диаметром и количеством отверстий в распылителе), давлением топлива и противодавлением во впускном коллекторе. Герметичность форсунки в районе седла обеспечивается за счет принципа конусно-сферического уплотнения.



1а) 1 - уплотнительное кольцо, 2 – фильтр, 3 – корпус, 4 – электромагнитная катушка, 5 – пружина, 6 – игла, 7 – седло клапана и распыливающая пластина с отверстиями;
1б) 1 – фильтр, 2 - электрический разъем, 3 - электромагнитная катушка, 4 – корпус, 5 – сердечник, 6-корпус клапана, 7 - игла клапана, 8 – уплотнительное кольцо, 9 – распылительное отверстие

Рисунок 1 - Электромагнитные форсунки

Кроме упомянутого выше типа, широко распространенной, особенно для старых автомобилей, является конструкция, в которой на переднем конце иглы образован специальный штифт для распыливания топлива - (Рисунок 1б). Уплотнительная поверхность клапана имеет коническую форму, а участок, где распыляется топливо, имеет кольцевую форму и образован между штифтом иглы клапана и центральным отверстием в седле.

В третьей распространенной конструкции, (Рисунок 1в) подвижный и уплотняющий элемент представляет собой диск, по которому топливо поступает через отверстие в направляющей пластине. Герметичность обеспечивается уплотнением диска к кольцу. Поскольку отверстие расположено сравнительно высоко, эти форсунки менее чувствительны к загрязнению и за счет небольшой массы диска обладают высоким быстродействием.

На смесеобразование влияет формирование топливной струи, то есть ее форма, угол направления и размер капель топлива в ней. Чтобы добиться хорошего распыления топлива в сочетании с малыми потерями на конденсацию и избежать образования пленочного слоя топлива, необходимо исключить попадание распыленного топлива на стенки впускного коллектора. Это означает, что для конкретного двигателя, на рассчитанном расстоянии от впускного клапана до форсунки, необходимо использовать форсунку с определенным углом струи.

На рисунке 2 показаны наиболее распространенные формы топливной струи [6].

Одиночная концентрированная струя (Рисунок 2а) – тонкая концентрированная и пульсирующая струя, в значительной степени позволяющая избежать попадания части распыленного топлива на стенки впускного коллектора. Такая форма струи подходит там, где между распылителем форсунки и впускным клапаном имеется большое расстояние. По современным представлениям, данный тип струи не рекомендуется из-за низкой степени распыления топлива и повышенного содержания углеводородов в выхлопных газах. Угол α80 – это угол, на который приходится 80% массы впрыскиваемого топлива.

Коническая струя (Рисунок 2.б) – формируется, когда через отверстия впрыска поступает одна или несколько отдельных струй топлива, при их перекрытии образуется конус. Типичная область применения конусно-струйных форсунок – двигатели с одним впускным клапаном на цилиндр. В некоторых случаях, они могут находить применение и в двигателях с двумя впускными клапанами на цилиндр.

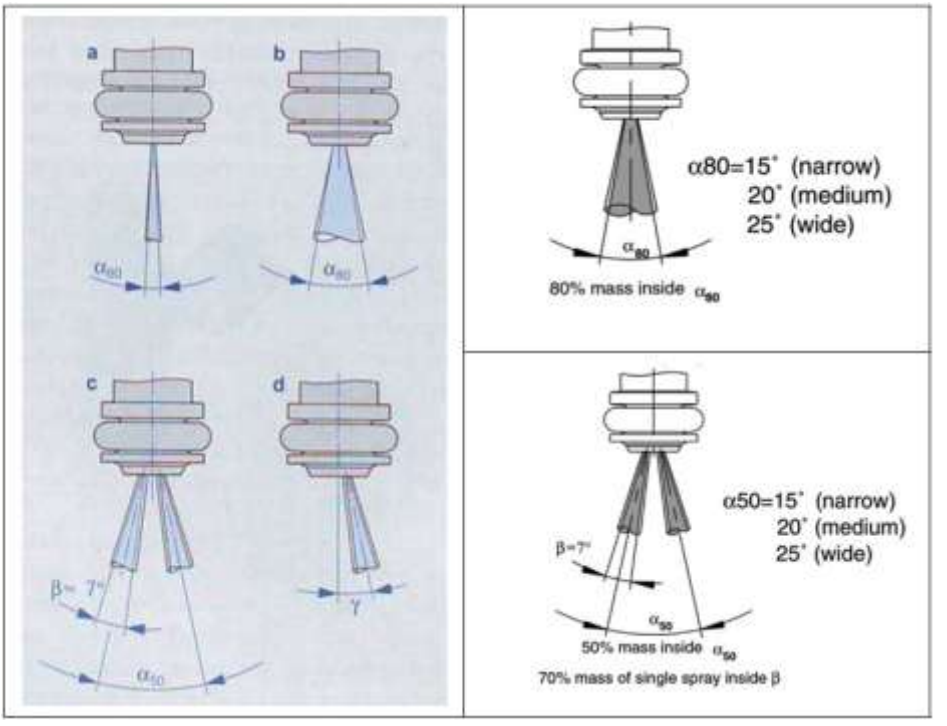


Рисунок 2 – Форма топливных струй

Двойная струя (Рисунок 2.c) – такие форсунки используются в двигателях с двумя или тремя впускными клапанами на цилиндр. Отверстия для впрыска топлива в распылительной пластине расположены таким образом, что образуются две топливные струи, которые, в свою очередь, могут состоять из нескольких отдельных струй. На угол α50 приходится 50% массы впрыскиваемого топлива и представляет собой угол расхождения двух струй. Угол β — это такой угол, на который приходится 70% массы единичной струи.

Топливная струя, в некоторых случаях, может отклоняться от оси форсунки на определенный угол γ с целью получения правильного состава горючей смеси.

Заданные параметры топливных струй получены на специальных лабораторных установках по стандартам SAE J1832 и SAE J2715.

Основная проблема при длительной эксплуатации – загрязнение и частичное засорение распылителя форсунки.

2.2 Механизм изменения характеристик топливных форсунок.

Существует несколько механизмов изменения характеристик форсунок. Первый связан с постепенным увеличением отверстий, вследствие естественного износа от проходящего топлива, что приводит к увеличению цикловой подачи. Это происходит при длительной эксплуатации и связано с эрозионным износом отверстий, через которые впрыскивается топливо. Износ отверстий распылителя приводит к изменению формы конуса распыла и практически не влияет на угол выхода топливной струи.

Другой основной механизм связан с уменьшением проходного сечения отверстий распылителя. Он выражается в постепенном накоплении отложений в области распылителя [7,8,9].

При отключении импульсов, подаваемых на форсунку, на ее передней части образуется капля бензина, а также могут налипать пары масла из вентиляции картера. Под действием повышенной температуры легкие фракции топлива испаряются, а алкены и другие тяжелые фракции углеводородов накапливаются в виде отложений, которые уменьшают площадь поперечного сечения калиброванного отверстия. Этот процесс сильно зависит от температуры, а также от состава и чистоты используемого топлива.

Алкены, называемые также олефинами, - это ненасыщенные углеводороды, высшие из которых представляют собой твердые воскообразные бесцветные вещества. Они являются одним из основных компонентов топлива (до 10%). Они могут вызывать образование отложений на впускных клапанах и передней части форсунок. Топливо с высоким содержанием алкенов требует дополнительных химических присадок для предотвращения образования отложений.

Бензин является хорошим растворителем, и при следующем запуске форсунок большая часть загрязнений смывается, но не большая часть может оставаться. Многократное повторение

вышеописанного процесса приводит к постепенному накоплению частиц нагара и уменьшению проходного сечения. Отложения могут постепенно покрывать всю периферию отверстия или частично только определенную область и постепенно увеличиваться, что в таком случае может привести к изменению формы и направления струи топлива.

Двигатели с непосредственным впрыском очень чувствительны к изменению формы струи и качества распыла, так как требуется, чтобы струя попадала в четко определенную область камеры сгорания, где должен быть достигнут локальный коэффициент избытка воздуха $\alpha \approx 1$.

Двигатели с впрыском во впускной коллектор, в основном чувствительны к уменьшению цикловой подачи топлива. При ухудшении качества впрыска, ухудшаются переходные характеристики двигателя и увеличивается содержание углеводородов в отработавших газах.

Уменьшение предельного проходного сечения на 8…10% в одной форсунке может привести к обеднению смеси и на некоторых режимах к пропускам воспламенения. В этом случае, в систему выпуска отработавших газов попадает несгоревший кислород, и датчик кислорода передает в электронный блок управления (ЭБУ) информацию о обедненной смеси. ЭБУ компенсирует это увеличением времени открытия на всех форсунках, что приводит к образованию богатой смеси в остальных цилиндрах и, соответственно, к увеличению расхода топлива и изменению токсичности отработавших газов.

2.3 Проверка и восстановление работоспособности форсунок.

Проверка работоспособности форсунок обычно проводится на стендах (Рисунок 3), имеющих возможность измерения расхода, качества распыла и герметичности - после прекращения подачи импульсов на форсунку не должно быть утечки топлива.

Для проверки расхода форсунок из-за взрывоопасности бензина не используют бензин, а применяют жидкости с аналогичными свойствами по вязкости и плотности. Допустимое отклонение от заданного расхода для новых форсунок, в большинстве случаев, составляет ±2%. Технические характеристики статического расхода форсунок обычно указываются при испытаниях с использованием n-гептана (Bosch, Siemens), при температуре 20°C, давлении 3,0 бар, напряжении 13,5 или 14 В постоянного тока. Другой, часто используемой испытательной жидкостью, особенно в условиях станций технического обслуживания (СТО), является уайт-спирит. Следует отметить, что из-за разной плотности тестовых жидкостей, измеренный расход будет разным, причем разница между n-гептаном и бензином составляет порядка 3÷4%, так как бензин имеет более высокую скорость истечения.



a) общий вид, b) окно контроля качества распыления c) мерные цилиндры для контроля расхода

Рисунок 3 - стенд ASNU

Измерение расхода с наименьшей погрешностью относительно заданных значений в условиях СТО трудоемко, так как расход очень чувствителен к свойствам тестовой жидкости - вязкости, плотности и температуре. Обычно, во время испытаний, температура тестовой жидкости значительно повышается,

поэтому для поддержания ее значений в заданных пределах, тестовую жидкость необходимо охлаждать с помощью теплообменника. Большинство стендов не имеют такой возможности.

Следует иметь в виду, что в эксплуатации важно следить не столько за отклонением расхода от заводских данных, сколько за разницей в работе отдельных форсунок, так как система управления двигателем работает с обратной связью и при равномерном изменении расхода всех форсунок может самоадаптироваться на определенный процент.

Существует несколько методов очистки форсунок. Первый метод предполагает очистку с помощью сильных химических растворителей, добавляемых в топливо в баке. Достоинствами этого метода являются: простота применения, низкая стоимость, отсутствие необходимости демонтажа форсунок, наличие на рынке большого разнообразия коммерческих присадок. Недостатки связаны с возможностью растворения выпавших в осадок смолистых продуктов из бака и их постепенного осаждения на распылителе форсунки; невозможностью оценить, все ли форсунки восстановили свое рабочее состояние. Помимо закоксовывания, которое является наиболее распространенной неисправностью, форсунки могут иметь и другие проблемы, такие как электрические неисправности, заедание якоря, внешние утечки, частичное засорение фильтров механическими примесями, пружины с пониженной жесткостью и другие.

Следующий способ - очистка с использованием химических растворителей, заменяющих основное топливо и подаваемых непосредственно в систему питания двигателя. В этом случае используется установка для очистки системы питания с собственной системой циркуляции, которая подключается к входу и выходу топливной рейки, и двигатель работает только на жидкости из установки в течение 30 минут. Преимуществами являются более быстрый результат, по сравнению с предыдущим методом и возможность очистки верхней части тарелок впускных клапанов. Недостатки - невозможность оценить состояние после очистки; более высокая стоимость; существует риск повреждения некоторых компонентов системы питания из-за высокой концентрации агрессивных химических веществ; выделение вредных компонентов в процессе проведения процедуры очистки.

Третий способ - очистка в ультразвуковой ванне. Ультразвуковая ванна для очистки форсунок представляет собой емкость, на внешней стороне дна которой закреплены один или два пьезоэлектрических излучателя ультразвуковых волн с частотой 20 кГц или 40 кГц. Волны передаются от корпуса к жидкости в ванне и вызывают колебания с высокой частотой - 20 000 раз в секунду. Во время очистки на форсунку также подаются электрические импульсы, и за счет движения иглы часть жидкости поднимается вверх во внутренний канал форсунки, т.е. происходит обратный поток. Очистка основана в основном на явлении кавитации, а не столько на моющих свойствах используемого моющего средства, которое обычно имеет водную основу и является биоразлагаемым.

Кавитация - это явление, при котором в жидкости образуются паровые пузырьки в результате локального перепада давления или при прохождении интенсивной акустической волны. Когда образовавшийся пузырек попадает в область жидкости с повышенным давлением, пар конденсируется, образуется вакуум, и окружающая жидкость с большой скоростью устремляется к центру, где встречающиеся частицы вызывают микрогидравлический удар, сопровождающийся локальным давлением очень высокой величины. Таким образом, достигается эффект микроочистки и удаления поверхностных загрязнений.

Достоинствами метода ультразвуковой очистки являются: высокая степень очистки; возможность последующей проверки в различных режимах основных характеристик форсунок - изменение расхода между отдельными форсунками, качество распыления, герметичность; в случае необходимости некоторые их детали могут быть заменены на новые - например, нижние уплотнительные кольца; фильтры форсунок; защитные теплоизоляционные колпачки (Рисунок 1б). Недостатками данного метода являются его относительная дороговизна, трудоемкость и необходимость снятия форсунок с двигателя.

2.4 Экспериментальные исследования.

Для исследований были взяты бензиновые форсунки автомобилей, оснащенных газовой системой, у которых возникла проблема с работой двигателя на бензине. Исследования проводились на стенде ASNU Classic GDI (Рисунок 3). Стенд позволяет проверять расход, качество распыла и герметичность, очищать форсунки с помощью встроенной ультразвуковой ванны [10]. Рабочее давление регулируется в диапазоне 1…8 бар. Некоторые особенности стенда:

- может использоваться для всех типов форсунок систем с впрыском во впускной коллектор и непосредственным впрыском (без пьезоэлектрических форсунок);
- реализованы режимы статического и динамического испытания;
- реализованы 18 различных режимов для установки длительности впрыска и оборотов;
- есть функция тестирования индуктивности обмоток форсунок;
- USB-подключение к ПК для установки длительности и тока импульса.

Типичная проверка начинается со снятия форсунок с двигателя, внешней очистки от пыли и грязи и установки на стенд. В первую очередь проверяется герметичность. Для этого насос запускается на 120 секунд, в течение которых форсунки тщательно осматриваются на предмет утечек. По данным некоторых производителей, допускается образование капли, которая не должна капать в течение 30 или 60 секунд, и эти значения обычно указываются в специализированных диагностических программах, например Bosch ESI[tronic].

Следующей проверкой является проверка качества распыла топлива (Рисунок 3б). Здесь форсунки устанавливаются в верхней части стенда и визуально определяется качество распыла, сами форсунки крепятся на стойке на уплотнительных кольцах и есть возможность поворачивать их по отдельности для лучшего наблюдения за струей топлива.

Третья и самая важная проверка - проверка объемного расхода форсунок. Допустимое отклонение расхода между отдельными форсунками составляет ±2% для новых форсунок. Здесь возможны два вида проверки - статическая и динамическая. Статические испытания проводятся при 100%-ном импульсном заполнении, т.е. форсунка непрерывно впрыскивает топливо в течение предварительно заданного периода времени - обычно 30 или 60 секунд. Статический тест служит для сравнения сечения отверстий отдельных форсунок, при этом любые электрические неисправности в подъеме иглы форсунки игнорируются. При динамической проверке выбирается один из 16 предустановленных режимов. В проведенных испытаниях использовался режим 6, при котором длительность импульса составляла 6 мс при частоте 2500 мин$^{-1}$.

В таблице 1 приведены результаты измерений расхода форсунок 12 автомобилей у которых была дополнительно установлена в сертифицированной мастерской система питания сжиженным газом, которая, по мнению водителей, привела к ухудшению характеристик работы двигателя на бензине. Для упрощения интерпретации результатов, расход представлен в виде разницы с медианным значением.

Таблица 1

Результаты измерений расхода форсунок

№	Марка автомобиля	Режим	Δ расход до очистки, [%]				Δ расход после очистки, [%]			
			1 ф.	2 ф.	3 ф.	4 ф.	1 ф.	2 ф.	3 ф.	4 ф.
1	Honda Accord 2.0, 2005г.	Стат. 100% откр.	0.5%	-4.5%	-0.5%	0.5%	0.5%	-0.5%	-0.5%	0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.5%	-4.6%	-0.5%	1.5%	0.0%	-2.0%	0.0%	0.0%
2	BMW 318 e46 1.9, 1998г.	Стат. 100% откр.	1.0%	-2.0%	-1.0%	1.0%	0.0%	-1.0%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-0.5%	-1.5%	0.5%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
3	VW Golf 1.8, 1997г.	Стат. 100% откр.	-2.1%	-3.1%	3.1%	2.1%	-0.5%	-2.5%	0.5%	0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-3.1%	-6.2%	3.1%	3.1%	-1.5%	-3.6%	1.5%	1.5%
4	Toyota Avensis T25 1.8, 2007г.	Стат. 100% откр.	0.5%	-0.5%	0.0%	0.0%	0.5%	-0.5%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.0%	-1.5%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
5	Toyota Avensis T22, 1.8, 2003г.	Стат. 100% откр.	-0.3%	-2.3%	0.8%	0.3%	0.5%	-0.5%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	1.0%	-5.1%	-1.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
6	Subaru Outback EJ20 2.0, 2005г.	Стат. 100% откр.	-5.6%	-0.5%	0.5%	1.5%	-1.5%	0.0%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-4.7%	-2.6%	3.6%	2.6%	-1.3%	-0.3%	0.8%	0.3%
7	Renault 21 2.0i, 1991г.	Стат. 100% откр.	0.0%	3.8%	0.0%	-3.8%	-0.5%	5.3%	0.5%	-2.4%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	1.0%	4.9%	-1.0%	-2.9%	0.0%	5.4%	0.0%	0.0%
8	Opel Astra F 1.4i, 1992г.	Стат. 100% откр.	0.8%	-0.3%	-4.0%	0.3%	1.6%	0.5%	-1.6%	-0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	1.6%	0.0%	-6.5%	0.0%	1.1%	0.0%	-2.1%	0.0%
9	Peugeot 106 KWF 1.4i, 2001г.	Стат. 100% откр.	-34.5%	0.0%	-6.9%	0.0%	-9.3%	0.0%	-4.7%	1.2%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-27.3%	0.0%	-6.1%	1.5%	-8.3%	0.0%	-4.6%	1.5%
10	Opel Astra G 2.2i, 2001г.	Стат. 100% откр.	4.3%	-0.9%	-0.9%	0.9%	0.8%	-0.8%	-1.7%	0.8%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.4%	0.0%	-0.9%	0.0%	0.0%	-0.4%	0.0%	0.0%
11	BMW 318 e46 1.9, 1999г.	Стат. 100% откр.	-0.6%	0.6%	1.2%	-1.2%	-0.6%	0.0%	0.0%	0.0%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	-1.2%	1.2%	2.9%	-1.2%	-0.6%	0.6%	1.2%	-0.6%
12	Mercedes C180 (W203), 1.8i, 2004г.	Стат. 100% откр.	1.6%	-1.6%	2.6%	-2.1%	1.6%	-1.6%	0.5%	-0.5%
		2500мин$^{-1}$, 6мс	0.8%	-0.8%	3.4%	-3.9%	1.5%	-2.0%	1.5%	-1.5%

Из анализа результатов, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что до очистки в 42% случаев одна форсунка имела большое отклонение; в 25% случаев две форсунки имели большое отклонение; в 17% случаев 4 форсунки находились за пределами медианного значения; в 17% случаев

форсунки находились в пределах нормы. После очистки 75% форсунок находились в пределах нормы; в остальных случаях, хотя и выходящих за пределы нормы, наблюдалось улучшение параметров, за исключением одного случая, когда наблюдалось небольшое ухудшение параметров.

3. Выводы:

В статье сделан обзор методов тестирования и восстановления работоспособного состояния форсунок, механизма ухудшения характеристик впрыска и представлены результаты испытаний 12 автомобилей. Основные выводы:

1. Наиболее распространенным случаем является тот, когда одна из форсунок имеет значительную разницу в расходе по сравнению с другими; за ним следует случай, когда две форсунки имеют большое отклонение;

2. В большинстве случаев, ультразвуковая очистка позволяет восстановить работоспособное состояние форсунок;

3. После очистки, настоятельно рекомендуется проверить форсунки, так как в небольшом проценте случаев, несмотря на некоторое улучшение, их параметры могут выходить за рамки допустимого отклонения. В единичных случаях, возможна заметная разница в расходе форсунок, подразумевающая дальнейшую их выбраковку и замену.

Список использованных источников

1. Залознов, И. П. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей за счет обоснования периодичности обслуживания электромагнитных форсунок : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Залознов Иван Павлович. – Омск, 2003. – 115 с. – EDN NMOSZH.

2. Система питания автомобильных и тракторных газовых двигателей : Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов", "Агроинженерия" / А. А. Лавренченко, С. М. Ведищев, А. В. Милованов [и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2021. – 151 с. – ISBN 978-5-8265-2443-5. – EDN GCGVJA.

3. Залознов, И. П. Физико-химическая сущность процессов смолообразования в топливной системе бензиновых двигателей с впрыском / И. П. Залознов, Н. Г. Певнев // Современные проблемы транспортного строительства, автомобилизации и высокоинтеллектуальные научно-педагогические технологии : Тезисы докладов на Международной научной конференции, посвященной 70-летию СибАДИ, Омск, 20–24 сентября 2000 года. Том I. – Омск: Сибади, 2000. – С. 59-60. – EDN YXJPRR.

4. Доровских, Д. В. Характер загрязнений распылителей форсунок, условия и механизм их образования / Д. В. Доровских, Е. А. Андреева // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : Материалы 3-й международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 27 июня 2016 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2016. – С. 245-247. – EDN XXCOWP.

5. Ерохов, В. И. Системы впрыска бензиновых двигателей : конструкция, расчет, диагностика / В. И. Ерохов. – Москва, 2011. – 552 с. – ISBN 978-5-9912-0130-8. – EDN PZTVEZ.

6. Автомобильный справочник [Текст] / Konrad Reif и др.; Bosch. -3-е изд. - Москва: За рулем, печ. 2012. -1274 с.

7. Лисин, В. А. Повышение эффективности эксплуатации газобаллонных автомобилей путем обоснования нормативов обслуживания двухтопливной системы питания : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лисин Виталий Александрович. – Омск, 2005. – 120 с. – EDN NNJOCN.

8. Овчинников, Г. В. Влияние загрязнения и износа элементов электромагнитных форсунок на характеристики автомобильного бензинового двигателя : специальность 05.04.02 "Тепловые двигатели" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Овчинников Григорий Викторович. – Владимир, 2009. – 144 с. – EDN NQQGQR.

9. Пантюхов, В. Д. Восстановление характеристик электромагнитных форсунок для впрыскивания бензина / В. Д. Пантюхов, И. П. Васильев // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации : Материалы Международной научно-практической конференции: Электронный ресурс, Омск, 07–09 декабря 2016 года. – Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2016. – С. 695-700. – EDN XSRLHX.

10. ASNU CLASSIC GDI – Instruction manual, Asnu corporation Europe Ltd, 2019.

УДК 629.113
73.31.41: Техническая эксплуатация и ремонт средств автомобильного транспорта. Автосервис

УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ АВТОМОБИЛЕЙ, ОСНАЩЕННЫХ ГАЗОБАЛЛОННОЙ СИСТЕМОЙ ПИТАНИЯ

Доровских Дмитрий Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта», ул. Мичуринская, 112, корп. Д, г. Тамбов, Тамбовская область, Россия, e-mail: dima.dorovskikh@yandex.ru

Доровских Никита Дмитриевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» - студент, ул. Мичуринская, 112, корп. Д, г. Тамбов, Тамбовская область, Россия

Аннотация. *Рассмотрены основные источники загрязнения на автомобильном транспорте. Выполнен анализ воздействия загрязнения на человека. Проанализированы нормативные документы по ограничению загрязнения на транспорте. Указаны виды вредных веществ, контролируемых на автомобиле, и отмечены недостатки действующего законодательства. Усовершенствована математическая модель определения расхода топлива для автомобилей, оснащённых газобаллонной системой питания. Исследовано влияние физико-химических свойств топлива на расход. Приведены графические зависимости расхода топлива для автомобиля ВАЗ-1118, работающего на бензине и сжиженном газе. Расширена математическая модель определения выбросов вредных веществ для автомобилей, работающих на газе. Получены сравнительные эксплуатационные характеристики выбросов CO, NO и CH на примере автомобиля ВАЗ-1118.*

Ключевые слова: *транспортное средство, выбросы вредных веществ, токсичность, условия эксплуатации, газовое оборудование, моделирование, альтернативное топливо.*

Введение.

Количество автомобилей постоянно растет и, как следствие, будет расти загрязнение окружающей среды. Исправить ситуацию можно только за счет качественных мер, направленных на снижение выбросов каждого автомобиля. Снизить загрязнение окружающей среды можно за счет перехода на другие виды топлива. А именно: биотопливо, сжатые или сжиженные газы, метиловый и этиловый спирты, водород, электрическая энергия и другие. Однако определенная концентрация этих видов топлива также вредна для человека [1].

Преимущества использования пропан-бутановой смеси по отношению к бензину следующие: газ выделяет гораздо меньше вредных продуктов горения; лучшая защищенность от фальсификации качества; менее подвержен детонации при любом режиме работы двигателя; имеет большую теплотворность на единицу массы; более дешевый. Недостатками являются: необходимость монтажа дополнительного оборудования, увеличивающего снаряженную массу автомобиля; повышенная летучесть газа и способность быстро накапливаться в закрытом пространстве увеличивая взрывоопасность; снижение мощности двигателя из-за низкой объемной теплоты сгорания; увеличение стоимости и времени технического обслуживания автомобиля [2].

Использование сжиженного нефтяного газа вместо бензина, приводит к увеличению расхода топлива, изменению концентрации вредных веществ в отработавших газах автомобилей.

Эти изменения следует учитывать в методике расчета и нормирования расхода топлива для автотранспортных средств. Также соответствующие изменения необходимо учесть в нормативных актах, ограничивающих выбросы вредных веществ в отработавших газах на транспорте.

Материалы и методы.

Основным источником загрязнения окружающей среды на транспорте являются продукты сгорания, образующиеся в цилиндрах двигателя и отводящиеся в атмосферу через систему выпуска отработавших газов автомобиля. В отработавших газах присутствуют следующие вредные вещества: оксид углерода, углеводород, оксиды азота, сероводород, оксид серы, бенз(а)пирен, ароматические углеводороды, бензол и другие.

Для автомобилей с бензиновым двигателем характерны значительные выбросы угарного газа, несгоревшего бензина, оксида азота, а для дизельных автомобилей – оксида азота, сажи, оксида серы и бенз(а)пирена. Автомобили, работающие на газообразном топливе (сжиженный нефтяной и сжатый природный газ) имеют меньшие выбросы оксида углерода и углеводорода по сравнению с бензином и меньшие выбросы оксида азота по сравнению с дизельным двигателем [3].

Загрязнение воздуха отработавшими газами становится критическим, если автомобиль двигается своим ходом внутри складов, производственных помещений, в зонах крытой стоянки. Значительные загрязнения могут возникать при диагностировании автомобиля на имитационном оборудовании, например на стенде с беговыми барабанами. Рекомендуется в этом случае использовать систему отсоса отработавших газов, которая монтируется на выпускную трубу [1].

Автомобиль не должен загрязнять атмосферу выше установленных норм. В эксплуатации контролируется допустимый уровень содержания оксида углерода и углеводородов в отработавших газах для автомобилей с бензиновым и газовым двигателем [4]. Для автомобилей, использующих дизельное топливо, контролируются предельно допустимые значения натурального показателя поглощения, что соответствует контролю содержания твердых частиц (дымности) в отработавших газах. Недостатком указанного нормативного акта [4] является то, что выбросы вредных веществ ограничены объемными показателями. В то время как, в Европейских Правилах выбросы вредных веществ измеряют в массовых показателях (г/км, г/цикл, г/кВт·ч) [5].

На величину выбросов вредных веществ оказывает значительное влияние расход топлива. Методика проф. Говорущенко Н.Я. [6] предусматривает расчет расхода топлива для автомобилей с карбюраторной и дизельной топливной системой.

Для автомобилей с газобаллонной системой питания рекомендуется увеличить расход топлива до 25 % [7], но это очень грубое предположение. Адаптируем методику [6] расчета расхода топлива для автомобилей, использующих газовое топливо.

Основная формула для расчета расхода топлива [6] в л/100 км:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} \cdot \left[A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot \left(G_a \cdot \psi + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^2 \right) \right], \quad (1)$$

где V_a – скорость автомобиля, км/ч; A, B, C – постоянные коэффициенты; η_i – индикаторный коэффициент полезного действия; i_k – средневзвешенное передаточное число коробки перемены передач; ψ - коэффициент суммарного дорожного сопротивления движению автомобиля; k - фактор обтекаемости, Н·с^2/м^2; G_a – вес автомобиля, Н.

Между индикаторным КПД двигателя η_i и коэффициентом избытка воздуха α существует тесная взаимосвязь [8]. Ввиду лучшей гомогенизации топливно-воздушной смеси и наилучшее распределение по цилиндру двигателя, принимаем индикаторный кпд газового топлива чуть выше бензинового. Будем использовать следующую зависимость:

$$\eta_i \approx 0,35 \cdot \alpha. \quad (2)$$

Коэффициент избытка воздуха α зависит от нагрузочного режима двигателя. На рисунке 1 изображена графическая зависимость изменения индикаторного кпд η_i двигателя от его нагрузки N_1.

Обогащение топлива происходит на минимальных и максимальных нагрузках и оборотах коленчатого вала двигателя. На средних режимах, система управления двигателем поддерживает стехиометрическую топливно-воздушную смесь, когда α приближена к единице.

На рисунке 1 изображен результат регрессивной модели кусочно-линейной аппроксимации вида:

$$\alpha = a_1 + b_1 \cdot N_1, \quad (3)$$

Принимаем следующие значения коэффициентов для газобаллонного двигателя:

- для диапазона N_1<20: a_1 = 0,8 и b_1 = 0,1;
- для диапазона 20< N_1<80: a_1 = 0 и b_1 = 1;
- для диапазона N_1>80: a_1 = -0,007 и b_1 = 1,57;

Процент мощности определяется по формуле:

$$N_1 = \frac{100 \cdot \left(G_a \cdot \psi \cdot V_a + 0,077 \cdot kF \cdot V_a^3 \right)}{3,6 \cdot 10^3 \cdot N_{e\max} \cdot \eta_{mp}}, \quad (4)$$

где N_{emax} – максимальная мощность двигателя автомобиля, кВт; η_{mp} – кпд трансмиссии;

В формулу расхода топлива (1) включены коэффициенты A, B, C, зависящие от качества применяемого топлива:

$$A = \frac{7,8 \cdot a_m \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_t \cdot r_k}; B = \frac{0,687 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_t \cdot r_k^2}; C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_t \cdot \eta_{mp}}, \quad (5)$$

где V_h – рабочий объем двигателя, л; i_0 – передаточное число главной передачи; r_k – динамический радиус колеса, м; S_n – ход поршня, м.

В формулах (5) – (7) качество топлива определяется двумя показателями: $H_н$ - низкая теплота сгорания (кДж/кг) и ρ_T - плотность топлива (кг/м^3). В работе [8] приведены основные свойства разных видов топлива.

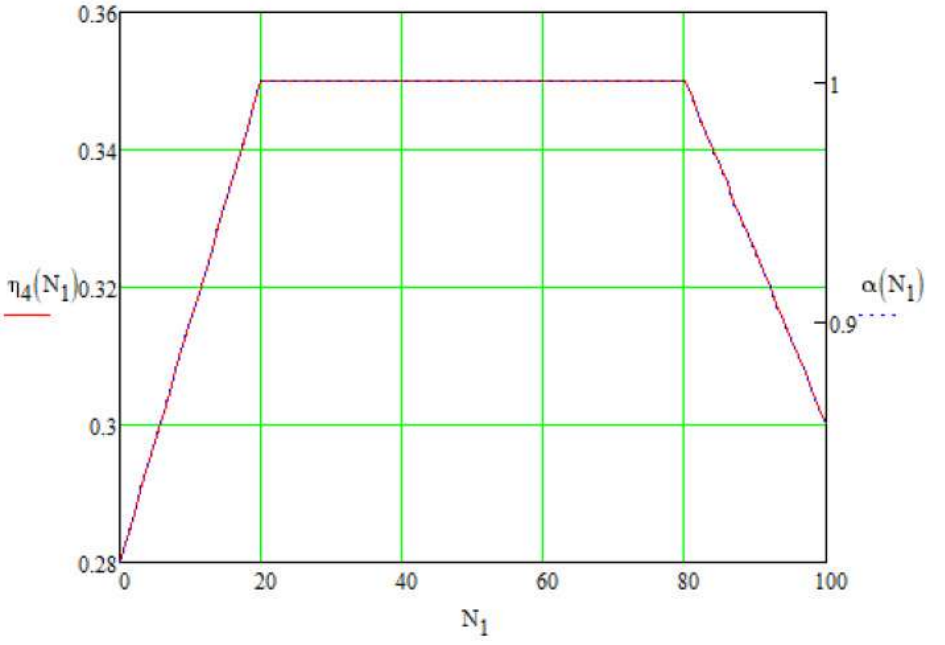


Рисунок 1 - Зависимость индикаторного кпд η_i и коэффициента избытка воздуха α от процента мощности двигателя N_1

Химический состав пропана [8]: доля углерода – 0,817, доля водорода – 0,182. Более низкая теплота сгорания пропана - $H_н$ = 46,47 МДж/кг, плотность топлива жидкой фазы – 0,542 кг/м^3.

Химический состав бутана: доля углерода – 0,545, доля водорода – 0,455. Природный газ состоит из метана (CH_4) – 95% и этана (C_2H_6) – 5%. Более низкая теплота сгорания составит $H_н$ = 49,74 МДж/кг.

Согласно методике [6] в формулах (1) и (4) используется i_k и ψ как средневзвешенное значение, зависящее от скорости автомобиля.

$$i_k = \frac{K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{кп}}{V_a} \quad и \quad \psi = \frac{0,01 \cdot V_{\max}}{V_a}, \tag{6}$$

где K_c – скоростной коэффициент; V_{max} – максимальная скорость автомобиля, км/ч; $i_{кп}$ – передаточное число коробки передач, соответствующее высшей передаче.

Результаты и обсуждение.

Результат расчета расхода топлива для автомобиля ВАЗ – 1118, на котором установлено газобаллонное оборудование, использующее сжиженный нефтяной газ показан на рисунке 2. Для этого автомобиля принимаем исходные данные из [9].

Согласно сделанных расчетов, минимальный расход топлива для сжиженного газа составляет 10,56 л/100 км, а бензина – 8,46 л/100 км, при средней скорости 80 км/ч. Из этого следует, что эксплуатация автомобиля ВАЗ-1118 на сжиженном газе вместо бензина, повысит расход топлива на 24,8%.

Основная формула для расчета выбросов вредных веществ [6] в г/км:

$$Q' = 0,0548 \cdot M_{вв} \cdot \rho_m \cdot \left(A_2 + B_2 \cdot N_1 + C_2 \cdot N_1^2\right) \cdot Q \cdot \alpha, \tag{7}$$

где M_x – молекулярная масса вредного вещества, г/моль; $\rho_т$ – плотность топлива, г/см^3; A_2, B_2, C_2 – постоянные коэффициенты, зависящие от типа установленного на автомобиле двигателя и вида вредного вещества; N_1 – процент использования мощности, %; Q – расход топлива, л/100 км; α - коэффициент избытка воздуха.

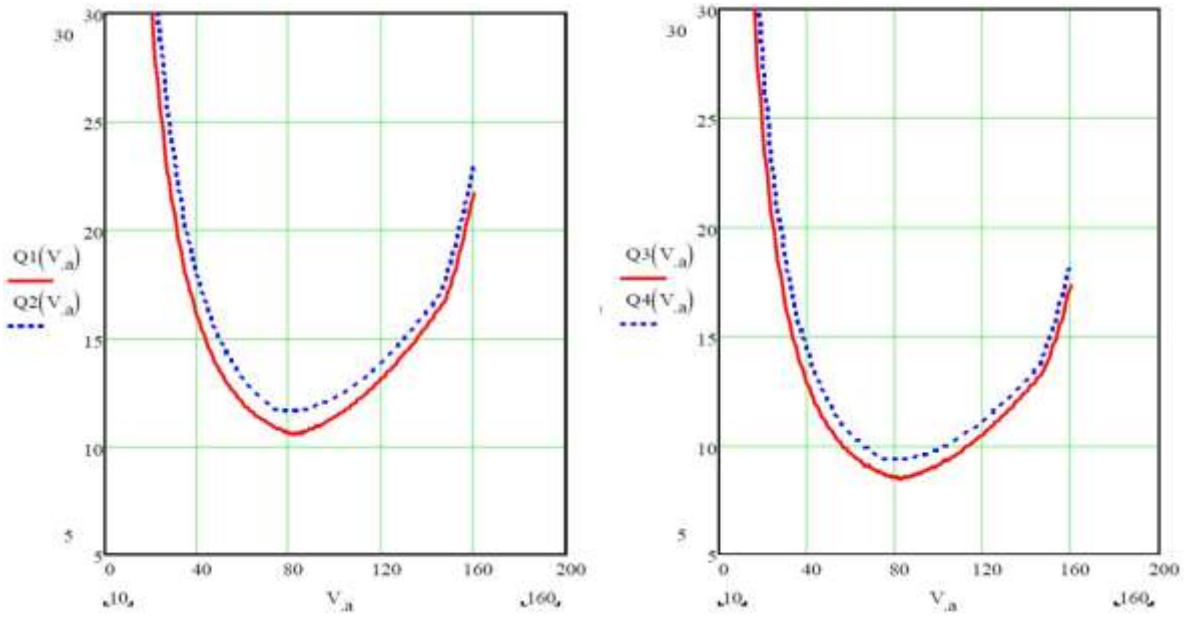


Рисунок 2 - Графическая зависимость расхода сжиженного газа (а) и бензина (б) для автомобиля ВАЗ-1118 от скорости движения

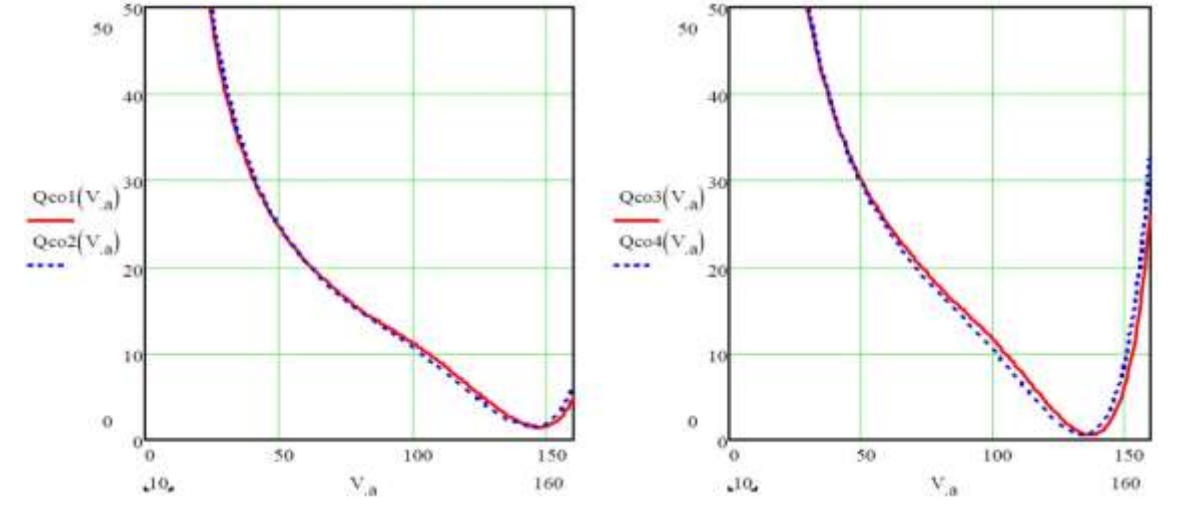
В таблице 1 приведены значения коэффициентов A_2, B_2, C_2 для автомобилей, которые в качестве топлива используют бензин и газ. Коэффициенты получены после обработки результатов эксперимента и ссылок [10, 11]. Результаты эксперимента были обработаны методом наименьших квадратов и получены коэффициенты регрессионной модели полинома второй ступени.

Таблица 1

Значения M_X и коэффициентов A_2, B_2, C_2 для разных видов вредных веществ

Тип двигателя	Вредное вещество	Значение коэффициентов			
		M_X	A_2	B_2	C_2
бензин	CO	28	4,02	-0,122	$0{,}935\cdot10^{-3}$
	NO_x	30	0,181	$7{,}02\cdot10^{-3}$	$-0{,}68\cdot10^{-4}$
	C_nH_m	86	0,077	$-1{,}83\cdot10^{-3}$	$0{,}137\cdot10^{-4}$
газ	CO	28	2,88	-0,0697	$0{,}438\cdot10^{-3}$
	NO_x	30	$6{,}25\cdot10^{-3}$	$2{,}38\cdot10^{-3}$	$-1{,}7\cdot10^{-6}$
	C_nH_m	86	0,046	$-0{,}46\cdot10^{-3}$	$2{,}79\cdot10^{-6}$

Для примера рассчитаем величину выбросов вредных веществ для автомобиля ВАЗ 1118, работающего на бензине и газовой смеси. Результаты изображены на рисунке 3.



Продолжение рисунка 3

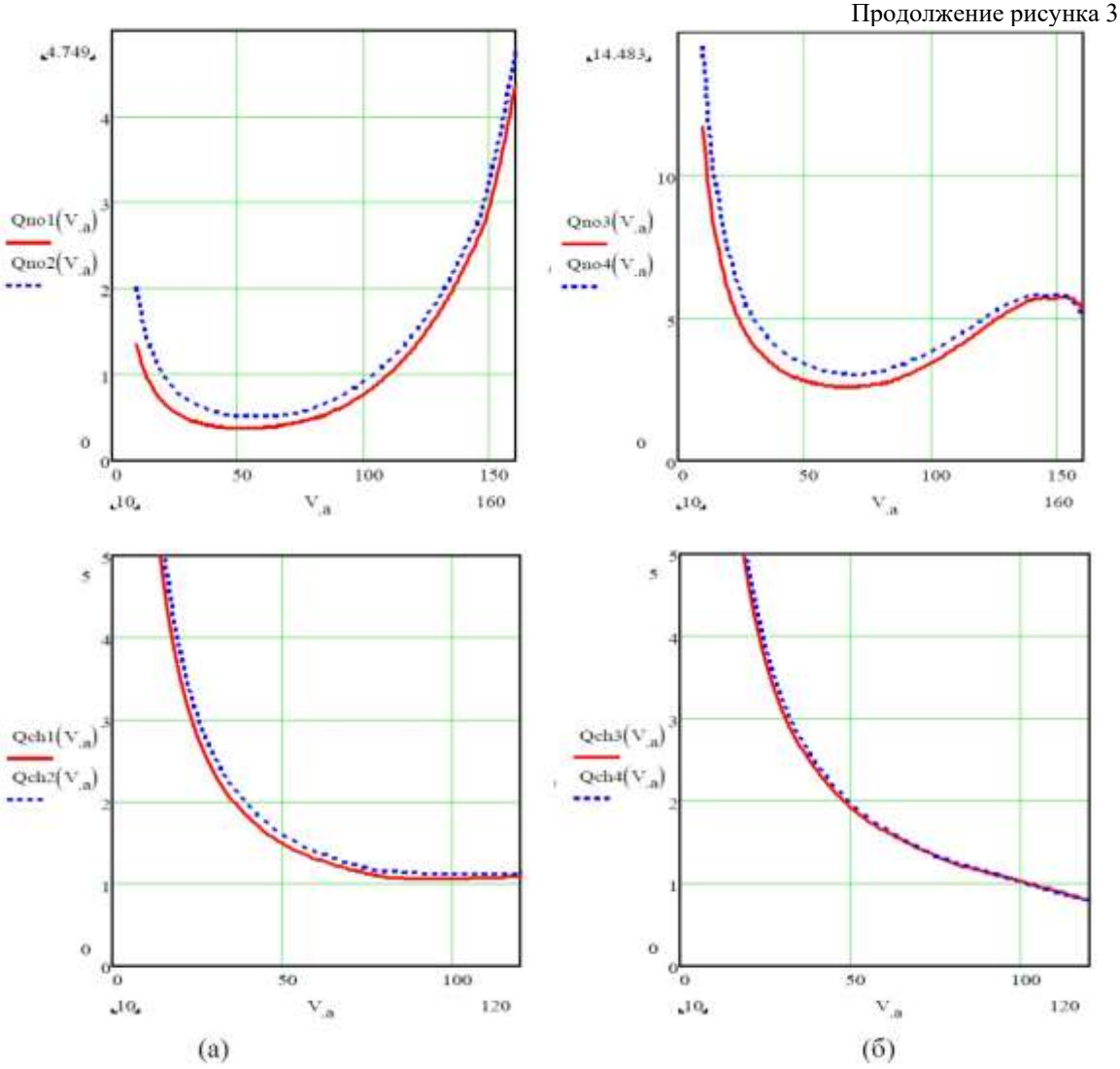


Рисунок 3 - Графическая зависимость выбросов CO, NO_x и C_nH_m от скорости движения для автомобиля ВАЗ-1118, работающего на газе (а) и бензине (б)

Расчет выбросов вредных веществ в г/км удобно применять для диагностирования автомобиля, когда автомобиль испытывается на имитационном стенде с беговыми барабанами. Перемещение транспортного средства внутри производственного помещения обычно осуществляется с минимальной скоростью, не более 5 км/ч. Находясь внутри помещения, автомобиль некоторое время может оставаться с включенным двигателем без движения. Поэтому необходимо рассчитать величину выбросов вредных веществ в режиме минимальных оборотов коленчатого вала.

Выбросы вредных веществ в г/ч можно рассчитать по уравнению:

$$Q'_{xx} = Q' / V_a, \tag{8}$$

где V_a – минимальная скорость движения. Принимаем 5 км/ч.

Рассчитаем выбросы вредных веществ на минимальных оборотах коленчатого вала двигателя для автомобиля ВАЗ-1118. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расчетные значения выбросов вредных веществ автомобиля ВАЗ-1118 на минимальных оборотах коленчатого вала двигателя

Выбросы вредных веществ	Вредное вещество		
	CO	NO_x	C_nH_m
При V_a = 5 км/ч, г/км	240	2,67	13,9
При V_a = 0 км/ч, г/ч	18	0,534	2,78

Зная количество вредных веществ, попадающих в атмосферу в единицу времени, и объем помещения, можно рассчитать концентрацию вредного вещества в помещении.

Выводы.

Автомобиль является источником загрязнения окружающей среды такими вредными веществами как: оксид углерода, жидкие и газообразные углеводороды, оксиды азота, сернистый газ, сероводород, сажа, альдегиды и бенз(а)пирен. Оценить вредное влияние на человека того или иного вещества можно исходя из значения предельной допустимой концентрации.

Усовершенствована методика расчета расхода топлива проф. Говорущенко М.Я. для автомобилей, работающих на сжатом или сжиженном газе. Свойства газа учтены более низкой теплотой сгорания и плотностью топлива. Получена новая характеристика для определения индикаторного кпд двигателя, работающего на газообразном топливе.

Усовершенствована методика расчета выбросов вредных веществ в отработавших газах для автомобилей с газобаллонной аппаратурой. Сравнение токсичности бензинового и газобаллонного автомобиля ВАЗ-1118 при движении со скоростью 75 км/ч установило: выбросы оксида углерода уменьшены на 11%; углеводорода – на 21%; оксида азота – на 80%. Установлено значение выбросов вредных веществ в г/ч. Определена методика расчета концентрации вредных веществ в помещении для автомобиля с работающим двигателем.

Список использованных источников

1. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

2. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учебное пособие для студентов специальностей 110301 и 110304 / О. А. Клейменов, С. А. Нагорнов, В. Д. Прохоренков [и др.] ; Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2008. – 304 с. – ISBN 978-5-8265-0741-4. – EDN QLACBT.

3. Доровских, Д. В. Анализ экологической безопасности автомобильных двигателей / Д. В. Доровских, И. Ю. Доровских // Современная наука: теория, методология, практика : Материалы 1-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 26–27 ноября 2019 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2019. – С. 45-48. – EDN BWDTQV.

4. ГОСТ 33997-2016. Межгосударственный стандарт. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки.

5. Доровских, Д. В. Уточнение математической модели движения автомобиля по режимам европейского ездового цикла и определение режимов упрощенного испытательного цикла / Д. В. Доровских, Ю. Е. Глазков // Техника и технология транспорта. – 2018. – № 4(9). – С. 7. – EDN YPFPNB.

6. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 134 с.

7. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте. Методические рекомендации. – М.: КНОРУС, 2010. – 160 с.

8. Шароглазов, Б. А. Двигатели внутреннего сгорания:теория, моделирование и расчет процессов : учебник по курсу "Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания" : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 651200 - "Энергомашиностроение" специальности 101200 - "Двигатели внутреннего сгорания" / Б. А. Шароглазов. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2006. – 382 с. – ISBN 5-696-03268-0. – EDN QMJMVJ.

9. LADA KALINA ВАЗ-11173, -11183, -11193 с двигателями 1,4i; 1,6i. Устройство, обслуживание, диагностика, ремонт. Иллюстрированное руководство. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2011. — 240 с.

10. Влияние добавки водородосодержащего газа к топливовоздушной смеси на работу бензинового двигателя / Д. В. Доровских, Ю. Е. Глазков, И. Ю. Доровских, М. М. Глазкова // Наука в центральной России. – 2019. – № 4(40). – С. 68-78. – DOI 10.35887/2305-2538-2019-4-68-78. – EDN ZSKBVA.

11. Система питания автомобильных и тракторных газовых двигателей : Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов", "Агроинженерия" / А. А. Лавренченко, С. М. Ведищев, А. В. Милованов [и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2021. – 151 с. – ISBN 978-5-8265-2443-5. – EDN GCGVJA.

УДК 656.11
73.31.11: Автомобильные дороги

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГРАНИЦАХ УЛИЦ ПРОЛЕТАРСКАЯ И АСТРАХАНСКАЯ В Г. ТАМБОВЕ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ ОДНОСТОРОННЕГО ДВИЖЕНИЯ

Жоголева Ольга Александровна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
к.т.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: zhogoleva.olga@rambler.ru

Манухин М.С.,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
магистрант
e-mail: gsiad_tambov@mail.ru

Улично-дорожная сеть города Тамбова, сформированная в исторической части города, на сегодняшний день работает на пределе своей пропускной способности. Рост уровня автомобилизации населения (превышающий 350-400 автомобилей на 1000 жителей) привел к возникновению регулярных заторов, особенно в часы пик. Улицы Советская и Карла Маркса являются ключевыми диаметральными магистралями, связывающими северную и южную части города. Несмотря на проводимые локальные мероприятия (регулирование фаз светофоров, запрет левых поворотов), системная проблема перегруженности остается нерешенной.

В данной работе предлагается кардинальное решение — переход к схеме парного одностороннего движения по указанным улицам, что является признанной мировой и отечественной практикой для городов с параллельной структурой центральных магистралей.

Улица Советская является главной транспортной артерией города. На ней сконцентрировано большое количество административных зданий, учебных заведений и торговых центров. Улица Карла Маркса проходит параллельно ей на расстоянии 400–600 метров и выполняет функцию дублера, однако ее потенциал используется не полностью из-за недостаточной ширины проезжей части на ряде участков и высокой плотности пересечений.

Основные проблемы текущей схемы:

- Конфликтные точки: Наличие большого количества левых поворотов на регулируемых перекрестках снижает эффективное время горения зеленого сигнала на 25-30%.
- Общественный транспорт: Совмещение плотных потоков индивидуального и общественного транспорта (включая троллейбусы на ул. Советской) создает «эффект бутылочного горлышка» у остановочных пунктов.
- Парковочное пространство: Несанкционированная парковка в крайних правых рядах фактически превращает трехполосные участки в двухполосные.
- Экологический аспект: Низкая средняя скорость движения (15–20 км/ч) способствует повышенному выбросу загрязняющих веществ в атмосферу.

Перевод улиц Советская и Карла Маркса на одностороннее движение позволит создать транспортную пару (куплет), работающую как единый механизм распределения потоков.

Предлагаемая концепция:

- Улица Советская: Организация одностороннего движения в направлении «Юг — Север» (от ул. Пролетарская до ул. Астраханская).
- Улица Карла Маркса: Организация одностороннего движения в направлении «Север — Юг» (от ул. Астраханской до ул. Пролетарская).

Преимущества данного решения:

- Ликвидация лобовых столкновений: Полностью исключается самый опасный вид ДТП.
- Упрощение работы светофорных объектов: Вместо сложных 3-4-фазных циклов возможен переход на 2-фазное регулирование, что увеличит долю полезного времени движения.
- Организация выделенных полос: На ул. Советской освобождается пространство для полноценной выделенной полосы общественного транспорта (ОТ), что позволит организовать движение ОТ в обоих направлениях (контрпродольная полоса для движения в сторону севера), либо перенести часть маршрутов на ул. К. Маркса.
- Увеличение скорости потока: Расчетная средняя скорость может возрасти на 40–50% за счет минимизации задержек на поворотах.

Реализация проекта требует комплексного подхода, включающего не только замену дорожных знаков, но и переустройство инженерной инфраструктуры.

На ул. Советской целесообразно выделить 5 полос движения в северном направлении. Крайняя правая полоса отводится под общественный транспорт. Оставшиеся 4 полосы распределяются между легковым и грузовым транспортом. На ул. Карла Маркса, учитывая ее переменную ширину, предлагается организовать 4 полосы в южном направлении.

Критически важными точками являются пересечения с улицами Интернациональная, М. Горького и Чичканова. Здесь необходима перенастройка системы «Зеленая волна». Внедрение адаптивного управления на базе детекторов транспорта позволит динамически изменять длительность фаз в зависимости от реальной загрузки.

Для обеспечения эффективного разворота и перехода с одной магистрали на другую необходимо оптимизировать состояние поперечных улиц (Куйбышева, Пензенская, Чичканова). На них должно быть сохранено двустороннее движение с запретом стоянки вблизи перекрестков.

Для оценки эффективности предлагаемой схемы был проведен сравнительный анализ транспортных потоков на перекрестке ул. Советская – ул. Чичканова

Состав транспортного потока характеризуется отношением в нем транспортных средств различного типа. Состав транспортного потока влияет на пропускную способность дороги из-за габарита транспортных средств, входящих в его состав.

Состав транспортного потока влияет на загрузку дорог, это объясняется разницей габаритов транспортных средств. Длина легковых автомобилей в среднем 4,5 м, грузовых 6-8 м, а автобусов 11 м.

Интенсивность движения – это то количество транспортных средств, прошедших через определенное сечение дороги, за единицу времени.

Для каждого направления путем натурных наблюдений, при помощи средств видео-фиксации, была определена интенсивность движения. Замеры производились в пиковые периоды, в понедельник вечером в 17:00 ч, и во вторник в утренний час пик в 8:00 ч. Длительность замеров составляла 15 минут. После подсчетов, количество транспортных средств умножалось на 4 для приведения к авт./ч.

Результаты исследования приведены на рисунке 1

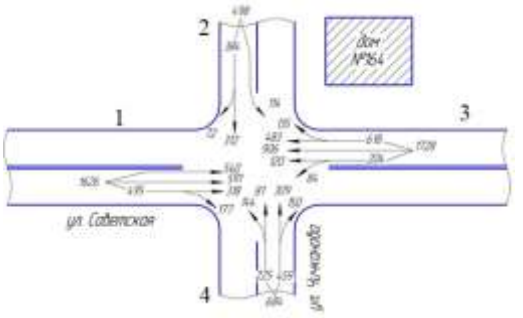


Рисунок 1 - Схема интенсивности движения на пересечении ул. Советская – ул. Чичканова, соответственно в 17:00 и в 8:00

Определение задержек транспортных средств на подходах к пересечению ул. Советская – ул. Чичканова

Наблюдение производилось для каждого направления при помощи средств видео-фиксации, в течение 10 минут. Затем по каждому видеоматериалу подсчитывалось: число транспортных средств, стоящих перед перекрестком через каждые 10 секунд; число транспортных средств, остановившихся за минуту; число транспортных средств, проехавших без остановки за минуту. Наблюдения были произведены в будний день в вечерний пиковый период с 17:00 ч. Полученные данные представлены в таблице 1. Загруженность направлений в пиковые часы представлена на рисунке 2.

Таблица 1

Результаты обследования задержек на перекрестке ул. Советская – ул. Чичерина

Показатель	Направление движения			
	1	2	3	4
Средняя задержка остановленного ТС, с	19,8	48,9	23,4	34,7



Рисунок 2 - Загруженность направлений пересечения ул. Советская – ул. Чичканова соответственно в 17:00 и в 8:00

Расчет цикла светофорного регулирования, после изменения схемы организации дорожного движения на пересечении ул. Советская – ул. Чичканова представлен на рисунке 3.

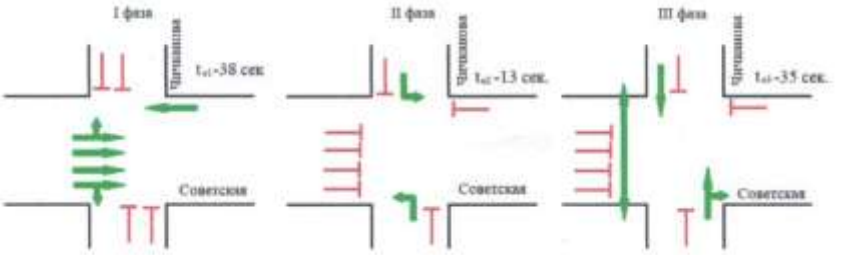


Рисунок 3 – Схема пофазного разъезда

На рисунке 4 представлена предлагаемая схема организации дорожного движения на пересечении ул. Советская – ул. Чичканова.



Рисунок 4 – Предлагаемая схема организации дорожного движения на пересечении ул. Советская – ул. Чичканова

Данные изменения показывают:

- Суммарные задержки транспорта на рассматриваемом участке снизятся на 35%.
- Длина очередей перед светофорами сократится в среднем на 200–300 метров.
- Пропускная способность системы «Советская — К. Маркса» увеличится на 1,8–2,2 тысячи приведенных автомобилей в час.

Экономический эффект складывается из экономии времени пассажиров и водителей, снижения расхода топлива и уменьшения затрат на ликвидацию последствий ДТП. По предварительным расчетам, окупаемость проекта (с учетом затрат на знаки, разметку и изменение контактной сети троллейбусов) составит менее 1,5 лет.

С использованием выполненных расчетов для перекрестка ул. Советская – ул. Чичканова выполнены аналогичные расчеты для регулируемых пересечений в пределах магистральных улиц

Советская
и К. Маркса, а также составлены детальные схемы организации дорожного движения для них.

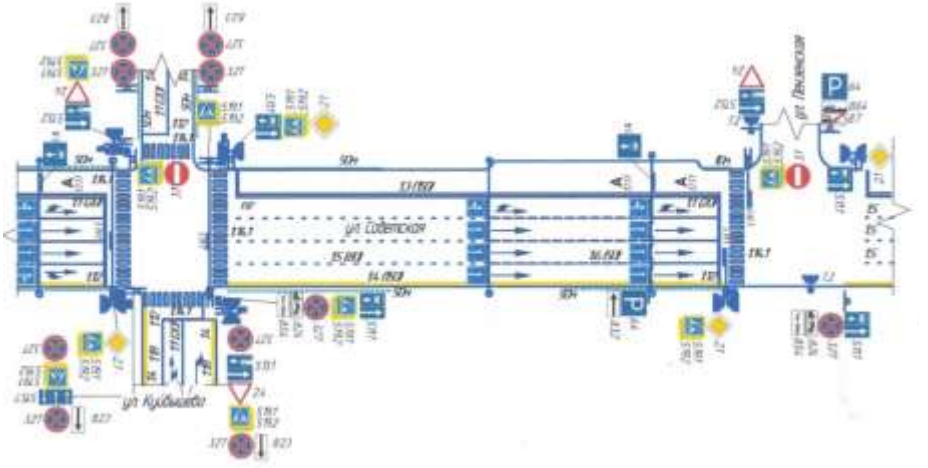


Рисунок 5 – Предлагаемая схема организации дорожного движения на пересечении ул. Советская – ул. Куйбышева



Рисунок 6 – Предлагаемая схема организации дорожного движения на пересечении ул. К. Маркса – ул. Чичканова

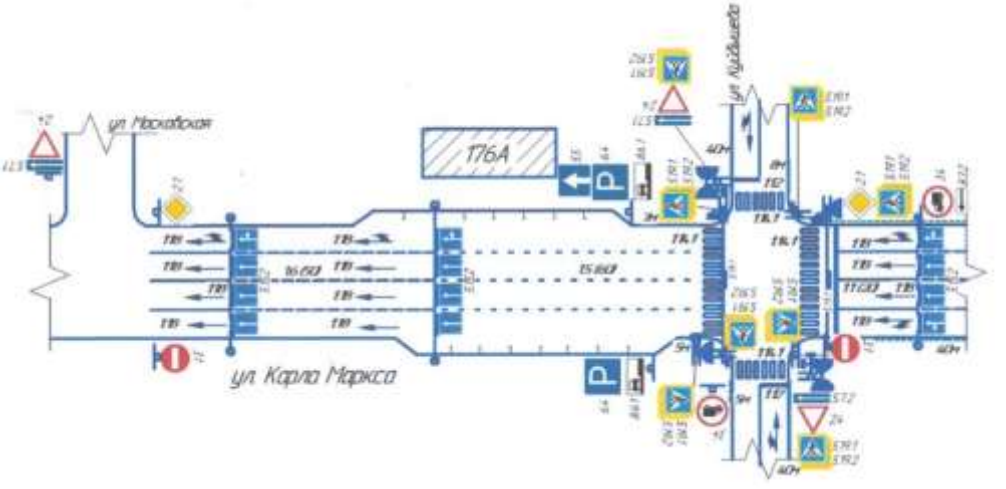


Рисунок 7 – Предлагаемая схема организации дорожного движения на пересечении ул. К. Маркса – ул. Куйбышева

Немаловажным фактором является улучшение качества городской среды. Снижение интенсивности торможений и разгонов («старт-стопный» режим) ведет к сокращению выбросов диоксида углерода и оксидов азота на 15–20%.

Однако, внедрение одностороннего движения может вызвать временные неудобства для местных жителей (увеличение перепробега к конкретным адресам). Для нивелирования этого фактора необходимо предусмотреть систему информационных табло и широкое оповещение населения через средства массовой информации за 3-6 месяцев до введения изменений.

Переход на систему одностороннего движения по улицам Советская и Карла Маркса в г. Тамбове является назревшей необходимостью. Данная мера позволит не только решить текущие проблемы с заторами, но и создаст резерв пропускной способности на ближайшее десятилетие.

Реализация предложенного проекта позволит превратить центральную часть Тамбова в более комфортное и безопасное пространство, обеспечив баланс интересов автомобилистов, пользователей общественного транспорта и пешеходов. Следующим этапом исследования должна стать детальная разработка схем организации движения на период внедрения проекта с учетом переустройства контактной сети электротранспорта.

Список использованных источников

1. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
2. ГОСТ Р 52289-2019 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения.
3. Стратегия социально-экономического развития Тамбовской области на период до 2030 года.

УДК 656.13
73.31/06.71.15.113: Объекты придорожного сервиса: классификация, требования, развитие

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИДОРОЖНОГО СЕРВИСА

Зеленин Григорий Васильевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
к.п.н., доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: zgv68rus@mail.ru

Лукин В.А.,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
магистрант
e-mail: gsiad_tambov@mail.ru

Современная транспортная система Российской Федерации является ключевым фактором устойчивого экономического роста и обеспечения территориальной целостности страны. В условиях переориентации логистических потоков и динамичного развития внутреннего автомобильного туризма вопросы качества придорожной инфраструктуры приобретают стратегическое значение. Объекты дорожного сервиса (ОДС) перестают рассматриваться как вспомогательные элементы дороги, становясь полноценной частью транспортного продукта, влияющей на безопасность дорожного движения и комфорт пользователей.

Классификация и текущее состояние ОДС

Согласно законодательству Российской Федерации (ФЗ №257), к объектам дорожного сервиса относятся здания и сооружения, предназначенные для обслуживания участников дорожного движения: автозаправочные станции (АЗС), автостанции, гостиницы (мотели), пункты питания, станции технического обслуживания (СТО) и площадки отдыха.

На сегодняшний день на федеральных трассах России функционирует более 12 тысяч ОДС. Однако их распределение крайне неравномерно. Анализ показывает, резкий контраст между европейской частью России и регионами Сибири и Дальнего Востока. На трассах М-4 «Дон», М-11 «Нева» плотность размещения объектов приближается к европейским стандартам (каждые 40–60 км). В то же время на

трассах Р-255 «Сибирь» или Р-297 «Амур» встречаются участки протяженностью более 150–200 км, лишенные элементарного сервиса, что создает риски для жизни и здоровья водителей в зимний период.

Основную долю рынка (около 60%) составляют АЗС, которые в последние годы трансформировались в мини-комплексы с магазинами и кафе. В то же время сегмент специализированных площадок для отдыха большегрузного транспорта и качественных средств размещения (мотелей) остается развитым недостаточно.

Таблица 1

Сравнительная характеристика инфраструктуры придорожного сервиса в Российской Федерации и странах с развитой автомобилизацией (ЕС и США)

Параметры сравнения	Российская Федерация (РФ)	Страны Европейского Союза (ЕС) / США
Частота и плотность размещения объектов	Высокая плотность на радиальных федеральных трассах (40–60 км). В регионах Сибири и Дальнего Востока разрывы достигают 150–250 км. Развитие носит точечный, а не сетевой характер.	Строгая регламентация: в ЕС (согласно нормам TEN-T) зоны отдыха каждые 30–50 км. В США на хайвеях rest areas располагаются в среднем каждые 30–60 миль (48–96 км).
Инфраструктура для электромобилей (ЭЗС)	Стадия формирования. Наличие ЭЗС преимущественно на трассах М-4, М-11, М-12. Доля ОДС, оснащенных быстрыми зарядками, составляет менее 3–5%. Отсутствие единого стандарта оплаты.	Высокая степень интеграции. Регламент AFIR (ЕС) обязывает устанавливать быстрые ЭЗС (от 150 кВт) каждые 60 км к 2026 г. В США действует программа NEVI по созданию национальной сети зарядных коридоров.
Уровень автоматизации и цифровизации	Преимущественно «островная» автоматизация (кассы самообслуживания на сетевых АЗС). Слабая интеграция с Интеллектуальными транспортными системами (ИТС). Бронирование услуг через сторонние агрегаторы.	Высокий уровень: автоматизированные мотели без персонала, бесконтактные парковки, интеграция данных о наличии мест в реальном времени в бортовые системы V2I (Vehicle-to-Infrastructure).
Типология и формат объектов	Преобладание монообъектов (отдельно АЗС, отдельно кафе). Концепция МФЗ активно внедряется только на новых платных участках.	Доминирование комплексных сервисных зон (Service Areas / Truck Stops), объединяющих рекреационные, логистические и коммерческие функции в едином архитектурном пространстве.
Экологические стандарты и санитария	Вариативность качества. Проблемы с утилизацией отходов и очистными сооружениями на объектах малого бизнеса. Санитарные зоны часто являются платными или низкого качества.	Строгий экологический контроль. Обязательное наличие бесплатных санитарных зон высокого стандарта, использование возобновляемых источников энергии (солнечные панели на крышах парковок).
Государственная поддержка и регулирование	Прямое бюджетное финансирование через госкомпании и субсидирование процентных ставок. Сложные процедуры согласования примыканий.	Развитые механизмы ГЧП (концессии). В США — запрет на коммерциализацию rest areas непосредственно в полосе отвода (для защиты малого бизнеса в городах), в ЕС — долгосрочная аренда участков.

Соответствие техническим регламентам и запросам потребителей

Техническое состояние многих ОДС, особенно на региональных дорогах, не соответствует современным требованиям ГОСТ Р 52766-2007 и отраслевым дорожным нормам. Основными проблемами являются:

1. Геометрические параметры: Несоответствие переходно-скоростных полос нормам безопасности, что создает аварийные ситуации при въезде/выезде на объект.
2. Санитарные нормы: Отсутствие качественных санитарных узлов и систем очистки стоков.
3. Информационное обеспечение: Недостаточная навигация и отсутствие данных об объектах в цифровых картографических сервисах.

Современный потребитель (как водитель-дальнобойщик, так и автотурист) формирует запрос на «бесшовный» сервис. Это предполагает наличие качественного интернета, возможности безналичной оплаты, здорового питания и условий для личной гигиены (душ, прачечная). Существующая разрозненная сеть мелких объектов зачастую не способна удовлетворить этот комплексный запрос.

В ходе анализа были выделены три группы барьеров, препятствующих развитию придорожного сервиса в РФ:

1. Нормативно-правовые и административные барьеры:

Процесс выделения земельных участков в полосе отвода дорог остается сложным и длительным. Существует правовой вакуум в вопросах ответственности за содержание подъездных путей к объектам. Кроме того, стандарты размещения ОДС часто не учитывают специфику интенсивности движения на конкретных участках.

2. Технические и логистические аспекты:

Многие участки трасс не обеспечены необходимой инженерной инфраструктурой — мощностями электросетей и газоснабжения. Удаленность объектов от населенных пунктов затрудняет логистику поставок продуктов питания и поиск квалифицированного персонала.

3. Экономические факторы:

Высокие сроки окупаемости (от 7 до 12 лет) делают инвестиции в придорожный сервис рискованными для малого и среднего бизнеса. Отсутствие единых сетевых стандартов (за исключением крупных нефтяных компаний) ведет к низкому уровню сервиса в частных точках питания и отдыха.

Концепция многофункциональных зон (МФЗ) как приоритет

Наиболее перспективным направлением развития признано создание Многофункциональных зон дорожного сервиса (МФЗ). В отличие от разрозненных ОДС, МФЗ — это комплексный объект, где на одной территории интегрированы:

- АЗС (включая электрозарядные станции);
- Раздельные парковки для легковых и грузовых авто;
- Зона питания (фуд-корт);
- Супермаркет и зона отдыха;
- Детские и спортивные площадки;
- СТО.

Основные преимущества МФЗ:

- Единый въезд и выезд: минимизация торможений на основной трассе, повышение безопасности.
- Разделение потоков: грузовой транспорт, легковые авто и автобусы паркуются в разных зонах, что снижает уровень шума и загазованности в зонах отдыха.
- Концентрация сервисов: потребитель получает всё необходимое (топливо, еду, отдых, мелкий ремонт) в одной точке.
- Инвестиционная привлекательность: за счет эффекта масштаба МФЗ притягивают более крупных сетевых операторов (известные бренды кафе и отелей).

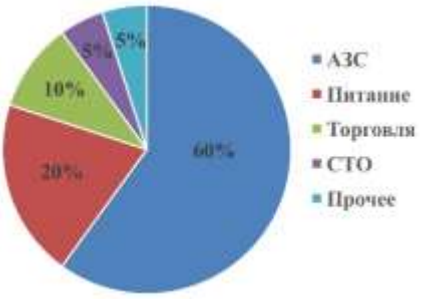


Рисунок 1 - Структура ОДС на трассах РФ

Развитие МФЗ активно поддерживается ГК «Автодор» и Росавтодором, особенно на новых скоростных магистралях (М-11 «Нева», М-12 «Восток»). Анализ эксплуатации МФЗ на трассе М-12 показал, что концентрация сервисов в одной точке снижает количество несанкционированных съездов и остановок на обочинах, что напрямую повышает безопасность движения на 15-20%.

Цифровизация придорожного сервиса

Важным аспектом анализа является цифровая трансформация отрасли. Внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет интегрировать данные об ОДС в бортовые компьютеры автомобилей и мобильные приложения. Это позволяет пользователю заранее бронировать

места в отелях или на парковках, проверять наличие определенных видов топлива и оценивать рейтинг заведений. Однако на текущий момент единая государственная база данных объектов дорожного сервиса находится в стадии формирования, что ограничивает возможности планирования поездок.

Заключение

Анализ текущего состояния инфраструктуры придорожного сервиса в Российской Федерации выявил переходный этап развития: от стихийного размещения разрозненных объектов к системному созданию многофункциональных зон.

1. Для качественного рывка в этой сфере необходимо:
2. Упростить процедуру примыкания объектов к федеральным трассам для инвесторов, готовых строить МФЗ.
3. Внедрить обязательные минимальные стандарты качества услуг (единый стандарт сервиса).
4. Стимулировать внедрение экологических технологий (очистные сооружения, ВИЭ, электрозарядки).
5. Активно развивать государственно-частное партнерство (ГЧП) для строительства инженерных коммуникаций в удаленных регионах.

Реализация концепции МФЗ в сочетании с цифровизацией сервисов позволит не только повысить туристическую привлекательность регионов России, но и создать новые рабочие места, увеличив налоговые поступления в региональные бюджеты.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 08.11.2007 № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации».
2. ГОСТ Р 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования.
3. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.
4. Отчеты ГК «Автодор» о развитии многофункциональных зон на скоростных магистралях (2023 г.).
5. Материалы конференций по развитию внутреннего автотуризма и придорожной инфраструктуры.
6. Концепция развития объектов дорожного сервиса вдоль автомобильных дорог общего пользования федерального значения (утв. Министерством транспорта РФ).
7. Афанасьев М. В., Сильченков А. С. Проблемы и перспективы развития многофункциональных зон дорожного сервиса в России // Вестник транспорта. — 2023. — №4.
8. Статистические данные Федерального дорожного агентства (Росавтодор) за 2022–2023 гг.
9. Международный опыт организации придорожного сервиса: аналитический обзор / под ред. Иванова П. С. — М.: Транспорт, 2022.

УДК 625.748.32
67.01.05: Материалы общего характера

О НЕОБОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ В ГОРОДСКОЙ ЧЕРТЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Макаров Александр Михайлович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: sascha_68@rambler.ru

Ермаков К.И.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: konstantin.ermakov2012@yandex.ru

Согласно действующим нормативным требованиям, допустимый уровень шума – это тот уровень звукового воздействия, при действии которого у человека не возникает значительного беспокойства и дискомфорта, не снижает функциональных состояний систем и общей работоспособности населения.

В большинстве европейских стран предельно допустимый уровень шума в жилых зонах в дневное время ограничен показателем 60 дБА. Во Франции установлены дифференцированные нормы: для жилой

застройки вблизи автомагистралей — до 60 дБА, в городской черте — до 70 дБА. В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2) допустимым в дневное время является уровень шума до 55 дБА, а в ночное – до 45 дБА. Источники шумового воздействия, создающие звуки большего или значительно большего уровня являются не просто некомфортными, но и в ряде случаев опасными для слуха человека.

На уровень шума около 20–30 децибел человеческий организм почти не реагирует — это привычный природный звуковой фон, необходимый для нормальной жизни.

Звуки до 65 децибел вызывают лишь психологический дискомфорт, который проявляется преимущественно при интеллектуальной деятельности. Такой шум, исходящий от самого человека, часто остается незамеченным, тогда как внешние источники раздражения воспринимаются сильнее.

Отметка шума между 65 и 85 децибел способна вызвать негативные физиологические реакции. Вибрации передаются по волокнам слуховых нервов, воздействуя на центральную и периферийную нервную систему, а через нее — на внутренние органы, вызывая функциональные нарушения и ухудшение общего самочувствия. Например, повышение пульса, артериального давления, сужение сосудов ведет к снижению работоспособности примерно на треть при повышении интенсивности шума с 65 до 85 децибел.

Кроме силы и интенсивности звукового сигнала, скорость снижения слуха зависят от возраста, изначальной остроты слуха, длительности контакта с шумом и множества иных факторов. Потеря слуха прогрессирует медленно, поэтому важно своевременно предпринимать профилактические меры.

Длительное воздействие сильного шума, особенно высокой частоты, способно привести к необратимому повреждению органов слуха. Уровни шума свыше 85 децибел снижают слуховую чувствительность спустя всего год-два, при умеренных значениях симптоматика появляется гораздо позднее (через пять-десять лет).

Постепенное снижение слуха сначала проявляется временно, после прекращения шума острота восприятия восстанавливаются быстро. Однако систематическая долговременная нагрузка делает эти изменения постоянными. Высокий уровень шума затрудняет полноценный отдых, нарушает сон, способствуя развитию хронического переутомления и нервных расстройств.

Шум неблагоприятно влияет на зрение, равновесие, замедляя реакцию и снижая четкость восприятия. Из-за угнетающего влияния на психику, постоянного накопления стресса в организме, растет риск многих болезней.

Производственный или транспортный шум провоцирует стресс, истощает внимание, лишает возможности сосредоточиться. После исчезновения такого шума возникает ощущение спокойствия и расслабленности.

Интенсивность шума свыше 85 децибел увеличивает вероятность потери слуха: при 85 дБ она достигает 3%, при 90 дБ — 10%, при 100 дБ — уже 29%. Помимо слуха страдает сердечно-сосудистая система, возникают проблемы с пищеварением, головные боли, звон в ушах.

Сотрудников магазинов с высоким уровнем шума ожидает развитие гипертонической болезни через десять-двенадцать лет, а те, кто подвергается воздействию импульсивного шума, сталкиваются с признаками гипертензии уже через пару-тройку лет.

Чрезмерно высокий уровень шума — порядка 120 децибел и выше — производит физическое разрушающее действие на ткани тела, нарушая целостность клеток, капиллярных сосудов и даже барабанную перепонку.

Звук силой 130 децибел воспринимается людьми как болезненное явление, при 150 децибел звук кажется непереносимо громким. Уровень шума 180 децибел способен привести к усталостному повреждению металлов, а звуки мощностью 190 децибел приводят к разрушению заклепочных швов конструкций.

В современных городских агломерациях актуальна проблема снижения шумового воздействия. Основными источниками шума выступают:

- грузовой автотранспорт;
- железнодорожные пути;
- технологическое оборудование, размещённое вблизи жилой и общественной застройки;
- участки строительства и ремонта автомобильных дорог.

Одним из наиболее эффективных методов шумозащиты на сегодняшний день является монтаж защитных экранов с применением шумопоглощающих и звукоотражающих материалов.

Наиболее остро в настоящее время стоит вопрос защиты от шумового воздействия территорий, прилегающих к площадкам производства дорожно-строительных работ в районах городской застройки.

На сегодняшний день на дорогах общего пользования местного, регионального и федерального значения, а также в ряде населенных пунктов для защиты от шума применяются шумозащитные экраны, выполненные из различных материалов.

В соответствии с акустическими характеристиками конструкции шумозащитных экранов

классифицируются на две основные группы:

- шумоотражающие;
- шумопоглощающие.

Механизм действия шумоотражающих экранов заключается в реверберации звуковой энергии в направлении, антипараллельном расположению защищаемого объекта. Шумопоглощающие экраны, напротив, диссипируют акустическую энергию, что исключает повышение уровней звукового давления как на контралатеральной стороне дорожного полотна, так и в интерьерах движущихся транспортных средств (рисунок 1).

Примечательно, что с точки зрения акустической защиты застроенных территорий оба типа конструкций демонстрируют схожую эффективность.

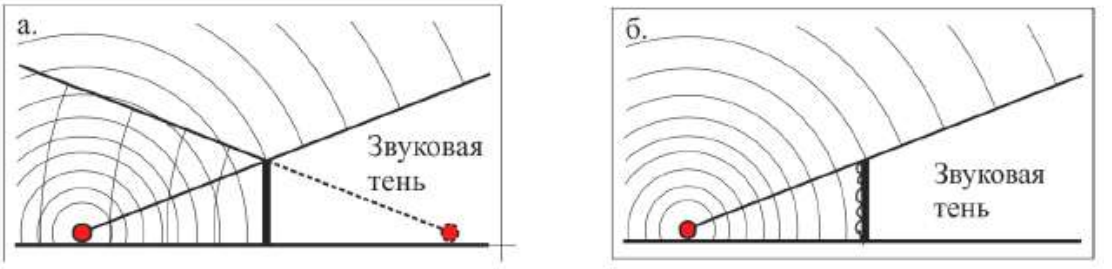


Рисунок 1 - Схема распространения шума в месте установки экрана: а – шумоотражающего; б – шумопоглащающего

Обычно люди отмечают повышение уровня шума сразу после установки звукового отражателя (шумозащитного экрана) на другой стороне улицы, несмотря на то, что такое возрастание не превышает пределы 1—2 дБ(А), то есть почти неощутимо. Тем не менее, жители противоположной стороны автомобильной дороги могут заметить разницу в восприятии шума, потому что характеристики отражённого сигнала отличаются от исходного звучания из-за изменений частоты волн.

Для устранения проблем, вызванных использованием отражающих барьеров, рекомендуется применять один либо комбинацию сразу из трёх предложенных подходов.

Метод первый. Важно соблюдать условие, согласно которому промежуток между двумя параллельными экранами должен превышать десять средних высот экранов. Такое соотношение примерно равное 10:1 существенно снижает отрицательное влияние противопоставленных экранов благодаря сокращению количества переотражённых звуковых волн и постепенному снижению интенсивности эха вследствие рассеяния и затухания звука в воздухе.

Метод второй. Можно покрыть экраны специальными материалами, поглощающими шумы. Вопрос о применении подобного покрытия решается исходя из финансовых возможностей заказчика, ведь нанесение звукопоглощающей поверхности на экран (включая монтажные работы) стоит от 75 до 118 долларов США за квадратный метр. Например, если средняя цена простого бетонного забора равна около 97 долларов/м², то установка поглотителя шума на экране высотой 3,6 метра увеличит затраты приблизительно на 400 тысяч долларов на каждый километр конструкции.

Метод третий. Устанавливают наклон экрана или экранов в направлении от автодороги. По результатам исследований определено, что отклонение экрана всего лишь на семь градусов способно восстановить первоначальные показатели эффективности защиты от шума благодаря дополнительному переотражению звуковой волны от звуковой застройки. Но при таком варианте исполнения один экран обязательно размещается выше второго.

Экранные конструкции, частично перекрывающие друг друга вдоль трассы, используются преимущественно для удобства проведения ремонтных работ и соблюдения требований безопасности. Стандартное руководство гласит, что длина наложения должна составлять четверть расстояния между ограждениями, обеспечивая минимальное снижение звукоизоляционных свойств конструкций (рисунок 2). Когда выполнение указанного соотношения затруднено, желательно предусмотреть использование дополнительного слоя шумоизоляционного покрытия на поверхности ограждений.

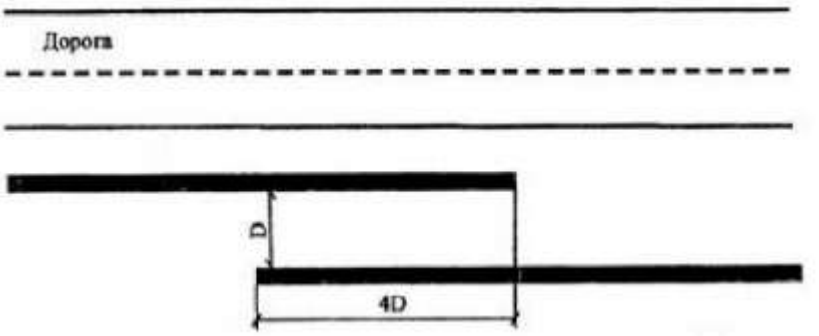


Рисунок 2 - Перекрывающиеся шумозащитные экраны (D - расстояние между шумозащитными экранами)

Однако в условиях городской застройки при производстве строительных или ремонтных работ применение классических шумозащитных экранов сильно ограниченно из-за особенностей монтажа и дороговизны конструкции. Для отделения участка производства строительных работ используют, как правило, классические оцинкованные металлические сплошные ограждения на переносных ножках (рисунок 3).



Рисунок 3 - Временные строительные ограждения

Однако подобная конструкция не способна обеспечить надлежащего шумозащитного эффекта, а даже наоборот может лишь усилить громкость отраженных и преломленных звуков.

Рассмотрим ситуацию, при которой необходимо применение шумозащитных экранов для защиты населения от пагубного шумового воздействия.

В 2025 году в рамках муниципального контракта от 02.06.2025 №36 Ремонт автомобильных дорог по ул. Карла Маркса (от ул. Интернациональной до ул. Пролетарской), по Моршанскому шоссе (от пл. Комсомольской до ул. Урожайной) и по пл. Комсомольская (на перекрестке ул. Пролетарской, Советской, Моршанского шоссе) в городе Тамбове «Ремонт автомобильных дорог по ул. Карла Маркса (от ул. Интернациональной до ул. Пролетарской), по Моршанскому шоссе (от пл. Комсомольской до ул. Урожайной) и по пл. Комсомольская (на перекрестке ул. Пролетарской, Советской, Моршанского шоссе) в городе Тамбове проводились работы по ремонту автомобильной дороги по ул. Карла Маркса на участке от ул. Интернациональной до ул. Пролетарской в городе Тамбове» (рисунок 4). В рамках ремонтных работ осуществлялось фрезерование существующего верхнего слоя дорожной одежды (асфальтобетонного покрытия) с последующей транспортировкой гранулята за пределы площадки производства работ, демонтаж участков коммуникационных люков гидромолотом с последующим наращиванием колодцев, а также устройство нового двухслойного асфальтобетонного покрытия с применением современного асфальтоукладчика и звена катков Hamm HD 110.

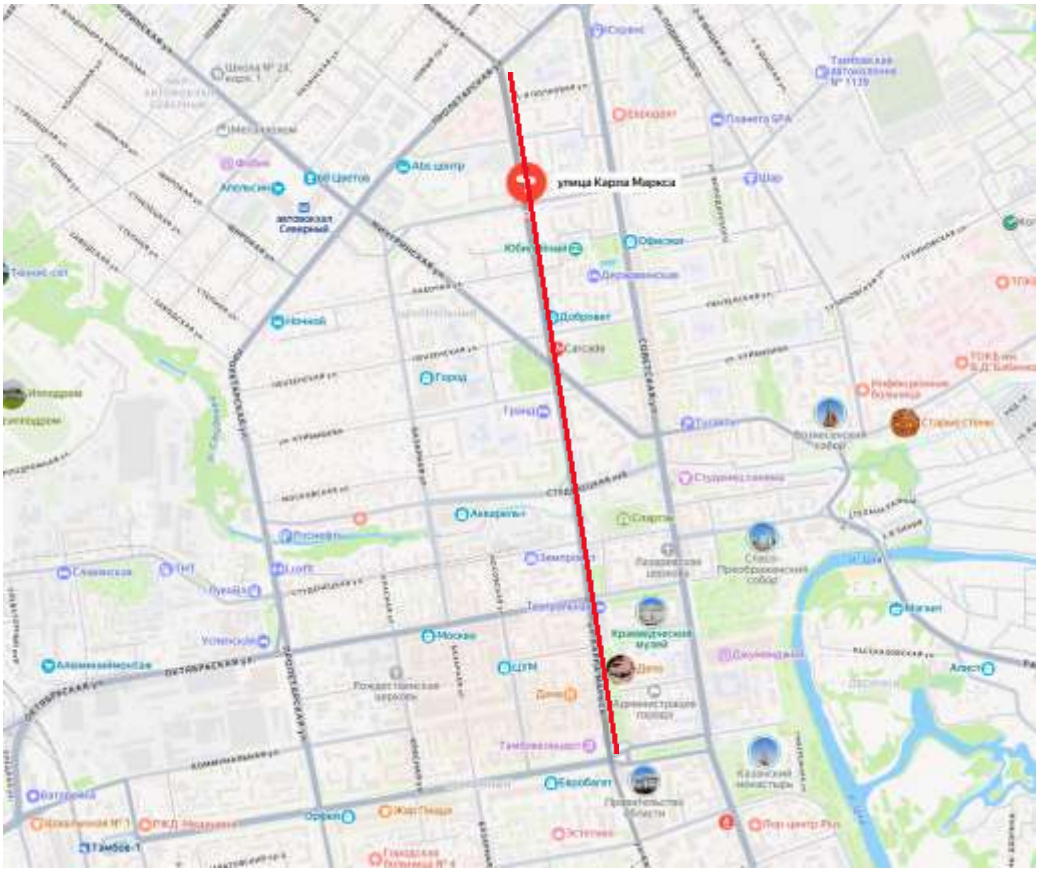


Рисунок 4 – Участок осуществления измерений

Согласно результатам произведенных исследований (таблица 1), выполненных с применением поверенного шумомера-анализатора спекторов Октава 101АМ определено, что уровень шума, возникающий от работающей дорожно-строительной техники,

Таблица 1

Результаты определения шумового воздействия

№ п/п	Высота над покрытием, м	Уровень шума, дБА, на расстоянии от машины				Координаты точки отсчета
		2,25 м	3,0 м	4,5 м	5,5 м	
Холодная фреза WIRTGEN						
1	1,2	98,2	97,6	94,5	90,3	52.733278, 41.453227
2	1,85	98,1	97,3	93,8	90,2	52.733278, 41.453188
3	2,3	98,2	97,1	93,0	89,8	52.733287, 41.453156
4	2,5	97,7	96,5	92,6	89,6	52.733280, 41.453143
Асфальтоукладчик Vogele SUPER 1900-2						
5	1,2	85,6	82,4	80,3	79,1	52.731959, 41.453755
6	1,85	85,3	82,3	80,0	78,9	52.731959, 41.453755
7	2,3	85,2	82,0	79,6	78,6	52.731947, 41.453802
8	2,5	85,1	81,7	79,4	78,5	
Звено катков Hamm HD 110						
9	1,2	80,1	78,5	77,5	76,3	52.731959, 41.453755
10	1,85	79,5	78,2	77,2	76,1	52.731959, 41.453755
11	2,3	79,2	78,1	77,0	76,0	52.731947, 41.453802



Рисунок 5 – Определение шумового воздействия от работающей холодной фрезы WIRTGEN



Рисунок 6 - Определение шумового воздействия от работающего асфальтоукладчика Vogele SUPER 1900-2

Таким образом в результате проведенного исследование определено, что:

- уровень шумового воздействия от работающей дорожно-строительной техники находится в опасных для слуха пределах, при том, что работы производятся в непосредственной близости от жилой и деловой застройки, а также в зоне перемещения пешеходов вдоль улиц;
- существующие шумозащитные экраны крайне сложно применить в условиях городской застройки из-за сложности монтажа, дороговизны конструкции и неудобстве транспортировки экранов водь захватки;
- существующие ограждающие конструкции (строительные листовые ограждения) не способны обеспечить надлежащий уровень шумовой защиты, что говорит о необходимости разработки новых современных решений для производства работ в ограниченных условиях с возможности быстрого и простого монтажа/демонтажа конструкций.

Список использованных источников

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений.
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации.
3. ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.
4. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
5. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
6. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2. 02.01-83.
7. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.
8. ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам». – М.: Издательство ФГУП «Информавтодор», 2011. – 123 с.
9. СП 51.13330.2011 Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. – М.: Минрегион России, 2011. – 41 с.
10. ГОСТ 12.1.036-81 (СТ СЭВ 2834-80) «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях».
11. В.С. Сердюк, В.К. Байдукова, В.В. Утюганова, Т.В. Колпакова, Методические указания к лабораторным работам «Исследование уровней шума при специальной оценке труда»- ФГБОУ ОГТУ, 2015г., 30 стр.

УДК 51.74
50.51.15: Математические модели и языки программирования

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРИВЫХ БЕЗЬЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Сазанчук Эмилия Павловна,
«Белорусский национальный технический университет», студент 2 курса факультета транспортных коммуникаций, кафедры «Автомобильные дороги»
e-mail: emilysazanchuk26@mail.ru

Чернявская Светлана Владимировна
«Белорусский национальный технический университет», научный руководитель, заведующий кафедрой «Математические методы в строительстве», доцент, кандидат физико-математических наук
e-mail: lana1964klepa@gmail.com

В настоящее время в Республике Беларусь геометрическое проектирование автомобильных дорог сочетает в себе инженерные нормативные требования, а также современные вычислительные методы. Главным элементом данного процесса является выбор типа переходной кривой, которая обеспечивает плавное изменение кривизны между круговыми и прямыми участками автомобильных дорог. Достаточно продолжительное время в Республике Беларусь в качестве переходной кривой в дорожном строительстве используется клотоида. Благодаря линейному изменению кривизны она обеспечивает динамику движения транспортных средств. Данный критерий важен при условии того, что трафик движения интенсивный [1].

В технической нормативной документации проектирования автомобильных дорог закреплено использование клотоид. В таких документах клотоида рассматривается как стандартная переходная кривая, которая обеспечивает повышение безопасности движения и снижение боковых заносов. Таким образом, практически все участки дорог в Республике Беларусь имеют в своём проектировании клотоиды. Клотоиды применяются повсеместно, особенно на автомобильных дорогах класса М. На таких трассах очень важна плавность движений, что в целом обеспечивается применен6ием клотоид.

При этом огромный интерес в инженерии вызывают кривые Безье при решении задач трассирования. Так как в данный момент развивается и широко используется CAD-система, то кривые Безье являются основным элементом при моделировании различных объектов [2]. Кривые Безье описываются полиномиальными уравнениями, в то время как клотоиды требуют вычисления интегралов Френеля. Тем самым расчёт кривых Безье становится более удобным и позволяет легко регулировать форму объекта с

помощью контрольных точек. Поэтому при автоматизации проектирования кривые Безье помогают оптимизировать алгоритмы генерации вариантов автомобильных дорог.

Моделирование кривыми Безье демонстрирует снижение резких скачков изменения кривизны по сравнению с упрощёнными спиральными переходами, а также улучшение характеристик бокового ускорения. В сочетании с продольным профилем и поперечным уклоном такие кривые позволяют уменьшить нарушения требований по видимости и повысить устойчивость автомобиля на высоких скоростях. Численные эксперименты также показывают уменьшение износа шин и снижение риска опрокидывания при движении по трассам, спроектированным с использованием кривых Безье. Кроме того, плавность изменения геометрических параметров положительно влияет на восприятие дороги водителем, снижая утомляемость и повышая предсказуемость траектории [3].

Несмотря на то, что зачастую клотоида используется в проектировании автомобильных дорог, кривые Безье способны расширить набор переходных кривых. Кривые Безье позволяют более точно управлять траекторией и адаптировать её к пространственным условиям. Данное утверждение подтверждает разработанное автором приложение на языке программирования Python, демонстрирующее сравнительный анализ основных параметров при проектировании участка дороги с помощью клотоид и кривых Безье (Рисунок 1).

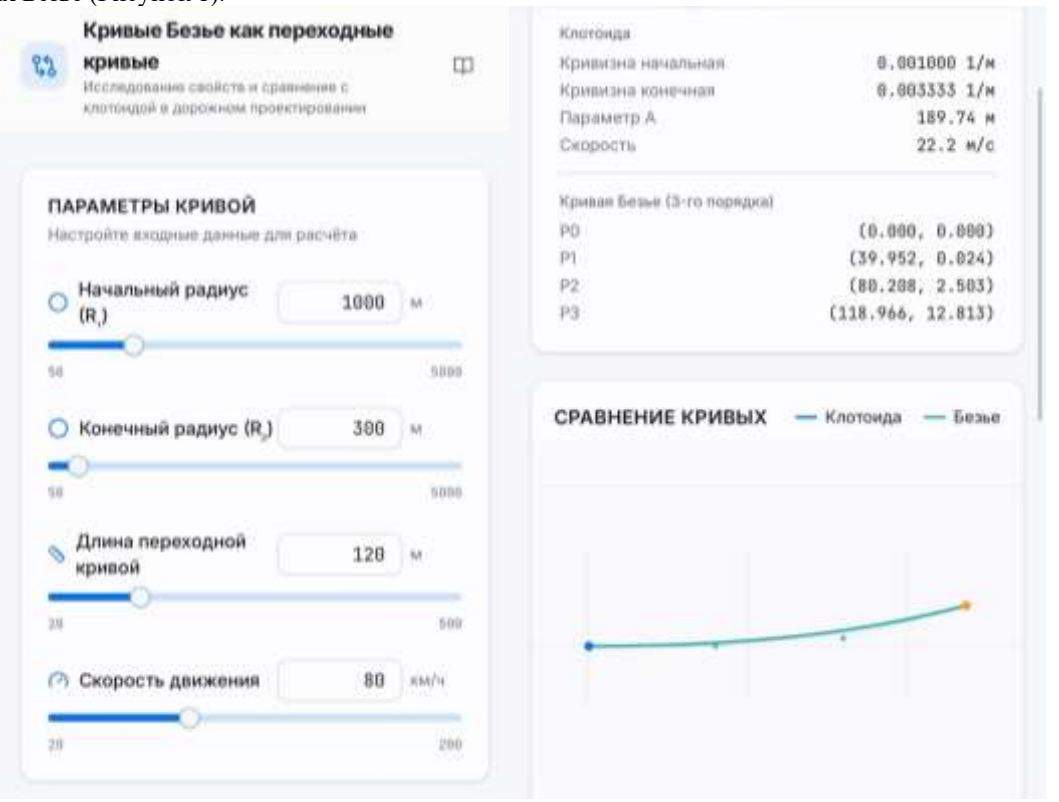


Рисунок 1 – Минимальные параметры кривой для сравнения кривых

Из рисунка 1 видно, что при минимальных значениях начального и конечного радиусов, длины переходной кривой и скорости движения кривая Безье и клотоида совпадают между собой. Но при увеличении тех же параметров изменяются графики (Рисунок 2).

На рисунке 2 можно увидеть абсолютную разницу двух кривых. В отличие от клотоиды, кривая Безье позволяет лучше учитывать особенности трасс и подстраиваться под рельеф местности, удовлетворяет всем требованиям комфорта. В ряде исследований показано, что правильно подобранные контрольные точки помогают добиться линейной кривизны, что делает свойства кривых Безье приближёнными к свойствам переходных кривых [4].

В приложении также возможен анализ кривизны в зависимости от длины дуги и отклонений (Рисунок 3).

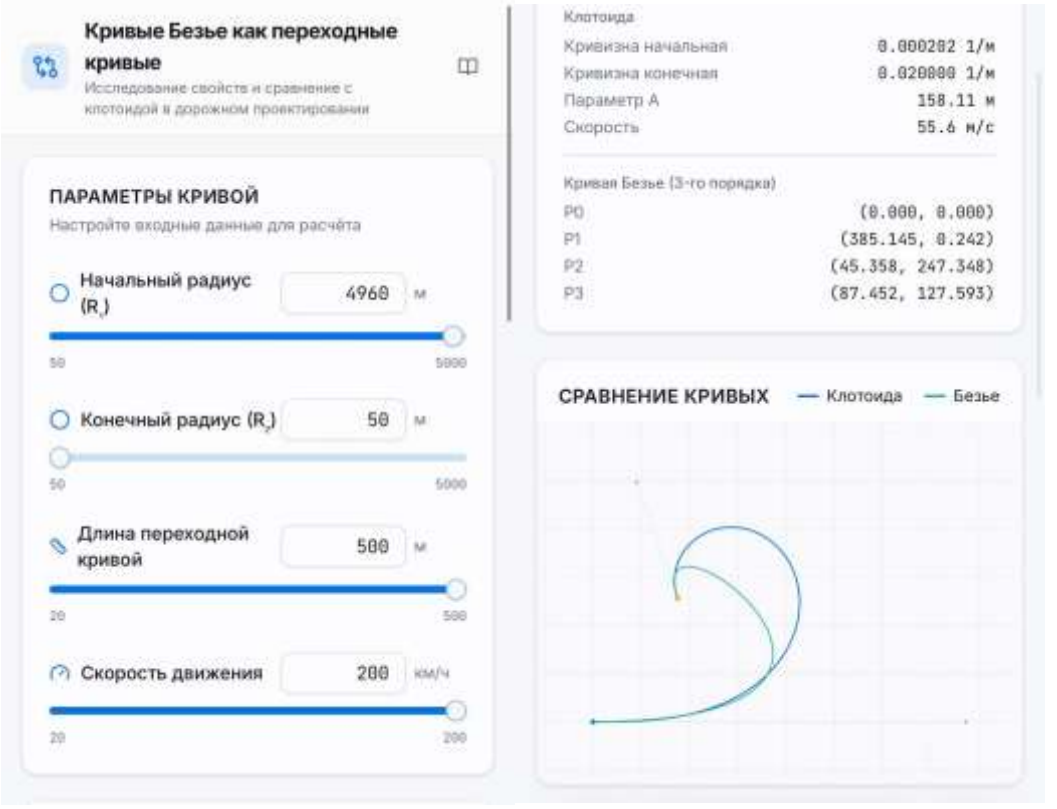


Рисунок 2 – Изменённые параметры кривых для сравнения их графиков



Рисунок 3 – Диаграмма кривизны и отклонения

Из рисунка 3 видно, что при минимальных значениях начального и конечного радиусов диаграммы, определяющие длины переходной кривой и скорости движения для кривой Безье и клотоиды являются одинаковыми.

В промышленном дизайне при формировании аэродинамических поверхностей для регулирования плавности перехода между прямой и круговой кривой также прекрасно подойдут кривые Безье. Они будут полезны для разработки компьютерных игр, так как позволяют осуществлять передвижение фигур (героев), обеспечить плавность передвижения без скачков и резкой динамики [5]. Благодаря этому такие кривые можно рассматривать как замену клотоидам, особенно когда объект требует большей гибкости.

В республике Беларусь в нормативные документы кривые Безье пока не включены. При этом их потенциал становиться более актуальным. В то время как происходит цифровая трансформация дорожного проектирования, переход к автоматизированному проектированию автомобильных дорог, использование полиномиальных кривых является логичным.

Проектировать участки автомобильных дорог, где рельеф или природные условия требуют нестандартных решений, достаточно сложно. Традиционные методы трассирования не позволяют достигнуть нужной гибкости. Поэтому инженеру-строителю приходиться находить форму линии, которая будет одновременно и безопасной для движения и впишется в окружающую среду. Именно к таким условиям идеально подойдут кривые Безье. Они позволяют плавно изменять изгибы и прекрасно подстраивают их под реальные условия местности.

Использование кривых Безье облегчает работу с геоинформационными системами, то есть графической визуализацией пространственных данных. Этот аспект является важным, так как современное дорожное проектирование чаще основывается на цифровых моделях. Такие модели используются для мониторинга состояния автомобильных дорог, планирования ремонтных работ и прогнозирования транспортных потоков. Кривые Безье прекрасно внедряются и делают процесс проектирования более точным и технологичным.

При этом цифровые технологии развиваются и требования к проектированию неизбежно меняются. Всё чаще требуется гибкое решение, которое можно быстро адаптировать под конкретную ситуацию. Учитывая этот фактор, кривые Безье являются перспективным решением. Они помогают расширить возможности трассирования и повысить эффективность работы. Чтобы кривые Безье были актуализированы, их необходимо адаптировать к общим республиканским стандартам. Важно понимать, что внедрение кривых Безье будет влиять на безопасность движения, комфорт участников дорожного движения и время эксплуатации дорожного полотна.

В ближайшем будущем можно предложить совмещение клотоид и кривых Безье на основе современных вычислительных методов. Это позволит проектировать дороги, соответствующие современным требованиям.

Список использованных источников

1. Карпович, В. Ф., Нестеренко, Э. К. Цифровые платформы для повышения эффективности автодорожных проектов в Республике Беларусь // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 2. – С. 15–22.

2. Волкова, Е. В., Козлова, М. Н., Волков, Н. С. Проектирование автомобильных дорог с использованием современных автоматизированных средств // iPolytech Journal. – 2011. – № 4. – С. 45–52.

3. Сазанчук Э. П. 2026. Исследование свойств кривых Безье как переходных кривых в дорожном проектировании. PREPRINTS.RU. https://doi.org/

4. Шведовский, П. В., Клебанюк, Д. Н. Изыскания и проектирование автомобильных дорог : учеб. пособие. – Москва : Инфра-Инженерия, 2021. – 304 с.

5. Сазанчук, Э. П. Применение кривых при разработке компьютерных игр / Э. П. Сазанчук ; науч. рук. С. В. Чернявская // Транспортные сооружения : материалы 81-й Студенческой научно-технической конференции, апрель-май 2025 / редкол.: С. Е. Кравченко (гл. ред.), Л. В. Козловская, А. Ю. Будо [и др.] ; сост. В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2025. – С. 612-614.

УДК 625.745.2
73.31.11: Автомобильные дороги

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО ВОДООТВОДА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Снигаренко Вероника Васильевна,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», студент, e-mail: vip.snigarenko@mail.ru

Урханова Лариса Алексеевна,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Градостроительство», e-mail: urkhanova@mail.ru

В регионах с муссонным климатом часто возникает проблема подтопления дорожной насыпи, и, как следствие, ее размыв и разрушение. Это происходит, когда штатные водоотводные сооружения, такие как водопропускные трубы и кюветы, не справляются с объемом притока воды во время паводков [3]. Поэтому целью проводимых исследований является разработка проекта аварийного водоотвода, применение которого будет предотвращать попадание большого количества воды в штатные сооружения и безопасно сбрасывать воду за пределы автомобильной дороги с гашением энергии потока и защитой места сброса от размыва.

Согласно ГОСТ Р 59611-2021 [1] система дорожного водоотвода – это комплекс инженерных сооружений, предназначенных для отвода поверхностных и подземных (грунтовых) вод с целью обеспечения надежной и безопасной работы всех сооружений и конструктивных элементов: обеспечения устойчивости земляного полотна, прочности дорожной одежды на проектируемой автомобильной дороге.

Согласно нормативным документам [1] основными видами поверхностного водоотвода являются поперечные уклоны на проезжей части и обочинах, боковые продольные канавы и кюветы, нагорные канавы, испарительные бассейны, прикромочные (продольные) и откосные телескопические (поперечные) лотки, мосты и трубы.

В настоящей статье в качестве поверхностного водоотвода рассматриваются штатные сооружения – трапецевидные кюветы глубиной 1,2 м, с шириной дна 1 м и в качестве аварийного сооружения – устройство нагорных канав с верховой стороны автомобильной дороги с отводом воды за пределы земляного полотна.

Для расчетов в качестве примера принята автомобильная дорога технической категории IB, расположенная в регионе с муссонными осадками и частыми наводнениями – Хабаровском крае.

Согласно СНиП 2.05.02-85 [4], вероятность превышения расчетных расходов воды при проектировании поверхностного водоотвода для дорог I - II технической категории следует принимать 1 %.

В соответствии с [7] расход ливневого стока Q, м^3/с, притекающий с бассейна к автомобильной дороге, вычисляется по методу О.В. Андреева – А.Ф. Шахидова:

$$Q = 16{,}7 \cdot a_{\text{ч}} \cdot K_t \cdot F \cdot \alpha \cdot \varphi, \quad (1)$$

где $a_{\text{ч}}$ – интенсивность ливня часовой продолжительности в зависимости от вероятности превышения (определяется по таблице 14.1 [7] и рисунку 14.6 [7]); K_t – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности $a_{\text{ч}}$ к интенсивности ливня расчетной продолжительности $a_{\text{расч}}$ (определяется по таблице 14.4 [7]); F – площадь водосбора, км^2, определяется по топографической карте (рисунок 1); α – коэффициент потерь стока (определяется по таблице 14.2 [7]); φ – коэффициент редукции, учитывающий неполноту стока в связи с неравномерным распределением осадков по площади водосбора, который определяется по формуле Б.Ф. Перевозникова:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10F}}, \quad (2)$$

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10 \cdot 0{,}2}} = 0{,}84.$$



Рисунок 1 – Определение площади водосборного бассейна

Тогда с учетом принятых и рассчитанных величин:

$$Q_{max} = 16{,}7 \cdot 1{,}48 \cdot 5{,}24 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}84 = 5{,}44.$$

Найдем глубину наполнения нагорной канавы и скорость протекания воды графо-аналитическим способом.

Для начала назначим глубину воды в канаве h, равную 0,1 м, и определим площадь живого сечения потока воды в канаве ω, м^2:

$$\omega = b \cdot h + \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot h^2, \quad (3)$$

где b – ширина канавы, принимаемая равной 0,6 м; m_1 и m_2 – заложения откосов, принимаемые равными 1,5.

$$\omega = 1 \cdot 0{,}1 + \frac{1{,}5 + 1{,}5}{2} \cdot 0{,}1^2 = 0{,}115 \text{ м}^2.$$

Найдем смоченный периметр канавы χ, м:

$$\chi = b + h \cdot \left(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}\right), \quad (4)$$

$$\chi = 1 + 0{,}1 \cdot \left(\sqrt{1 + 1{,}5^2} + \sqrt{1 + 1{,}5^2}\right) = 1{,}361 \text{ м}.$$

Найдем гидравлический радиус R, м:

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (5)$$

$$R = \frac{0{,}115}{1{,}361} = 0{,}084.$$

Определим значение $\omega R^{2/3}$:

$$\omega R^{2/3} = 0{,}115 \cdot 0{,}084^{2/3} = 0{,}022. \quad (6)$$

Повторим расчеты по формулам (3 - 6) для глубины потока h = 0,2…0,9 м с шагом 0,1 м и сведем полученные данные в таблицу 1.

Таблица 1

Расчетная таблица для ряда значений глубины потока

h, м	b, м	m_1	m_2	ω, м^2	χ, м	R, м	$\omega R^{2/3}$
0,1	0,6	1,5	1,5	0,075	0,961	0,078	0,014
0,2	0,6	1,5	1,5	0,18	1,321	0,136	0,048
0,3	0,6	1,5	1,5	0,315	1,682	0,187	0,103
0,4	0,6	1,5	1,5	0,48	2,042	0,235	0,183
0,5	0,6	1,5	1,5	0,675	2,403	0,281	0,290
0,6	0,6	1,5	1,5	0,9	2,763	0,326	0,426

Окончание таблицы 1

0,7	0,6	1,5	1,5	1,155	3,124	0,370	0,595
0,8	0,6	1,5	1,5	1,44	3,484	0,413	0,799
0,9	0,6	1,5	1,5	1,755	3,845	0,456	1,040

$$\omega R^{2/3} = \frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = a, \quad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости, для неукрепленных канав n = 0,03; i – продольный уклон канавы, доли единиц, определяется по топографической карте:

$$a = \frac{5{,}44 \cdot 0{,}03}{\sqrt{0{,}038}} = 0{,}837.$$

Для того, чтобы найти глубину наполнения канавы построим график (рисунок 2). На оси абцисс отложим значение a, найдем глубину наполнения канавы h_1 и для него значение $R^{2/3}$.

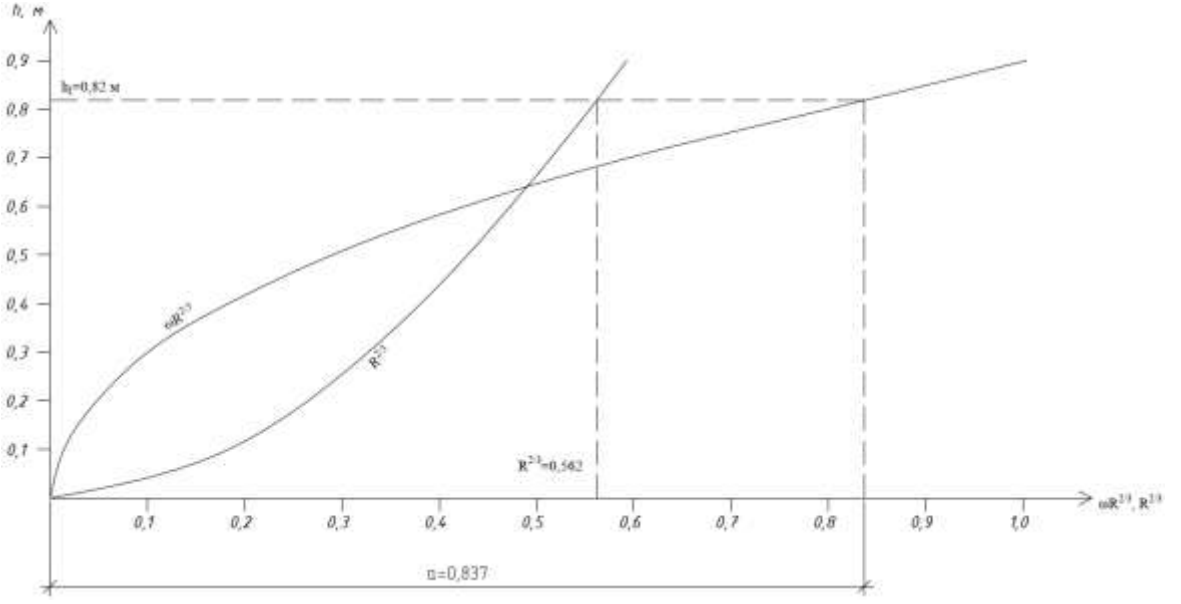


Рисунок 2 – Графический метод определения глубины потока

Рассчитаем среднюю скорость по формуле Шези-Маннинга v, м/с [7]:

$$v = \frac{R^{2/3}}{n} \cdot \sqrt{i}, \quad (8)$$

$$v = \frac{0{,}592}{0{,}03} \cdot \sqrt{0{,}038} = 3{,}85 \text{ м/с}.$$

Минимальная глубина канавы h_{min}, м:

$$h_{min} = h + 0{,}2, \quad (9)$$

$$h_{min} = 0{,}89 + 0{,}2 = 1{,}09 \text{ м}.$$

В соответствии с СТО НОСТРОЙ 2.25.103-2013 [5] при скорости течения потока свыше 3 м/с канавы следует укреплять сборными железобетонными плитами по ГОСТ 21924.2, которые укладывают на подготовленное песчаное основание в соответствии с технологическими картами [6].

Кратко технологический процесс укрепления канавы включает в себя следующие операции:

1) Устройство траншеи экскаватором;

2) Зачистка дна до проектных отметок, устройство песчаной и щебеночной подготовки;

3) Укладка железобетонных плит на откосы и дно канавы;

4) Заполнение швов между плитами цементным раствором или полимерно-битумными герметиками.

Также, при уклонах местности более 0,005, в канавах следует устраивать перепады и энергогасители. В настоящей статье рассматривается устройство одноступенчатого перепада высотой 1 м в середине трассы канавы с водобойным колодцем трапецеидальной формы для гашения энергии потока в конце трассы [2].

Входная часть одноступенчатого перепада представляет собой водослив с широким порогом, поэтому расчет размеров водопропускных отверстий выполняется как для неподтопленных водосливов. Ширина водосливного фронта b, м:

$$b = \frac{Q}{m\sqrt{2g}H_0^{1,5}}, \quad (10)$$

где m – коэффициент расхода (определяется по таблице 1 [7]); g – ускорение свободного падения м/с^2; H_0 – напор на пороге водослива с учетом скорости подхода, м, принимаем равным 1 м.

$$b = \frac{5{,}44}{0{,}3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1^{1,5}}} = 4 \text{ м}.$$

Таким образом, в условиях сложного климата, для которого характерны муссонные осадки и наводнения, в качестве системы аварийного водоотвода автомобильной дороги предусмотрено устройство нагорной канавы трапецеидальной формы с шириной дна 0,6 м и глубиной потока 0,82 м, служащей для перехвата и отвода воды от автомобильной дороги, предотвращая размыв и разрушение земляного полотна. Согласно нормативным требованиям [5], исходя из условий скорости потока воды и рельефа местности, канава укреплена сборными железобетонными плитами, а также предусмотрены гасители энергии в виде одноступенчатого перепада и водобойного колодца.

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р 59611-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Система водоотвода. Требования к проектированию. – Введ. 2021-09-01. – Москва : ФГБУ «РСТ», 2021. – 32 с.
2. Зотов, К. В. Расчеты водопропускных сооружений на каналах гидромелиоративных систем : методические указания / К. В. Зотов, М. Ю. Патрина ; Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет». – Санкт-Петербург, 2010 – 30 с.
3. Перевозников, Б. Ф. Сооружения системы водоотвода с проезжей части автомобильных дорог : обзорная информация. Вып. 2 / Б. Ф. Перевозников, А. А. Ильина. – Москва, 2002. – 35 с.
4. СНиП 2.05.02-85*. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – Введ. 1987-01-01. – Москва : ГУП ЦПП, 2004. – 56 с.
5. СТО НОСТРОЙ 2.25.103-2013. Автомобильные дороги. Устройство водоотводных и дренажных систем при строительстве автомобильных дорог и мостовых сооружений / Национальное объединение строителей. – Введ. 2013-06-24. – Москва : Издательство БСТ, 2014. – 52 с.
6. Укрепление откосов насыпей и выемок при строительстве автомобильных дорог. Технологические карты. / Миндорстрой УССР. – Киев : Будивельник, 1990 г.
7. Федотов, Г. А. Изыскания и проектирование автомобильных дорог : учебник : в 2 кн. Кн. 1 / Г. А. Федотов, П. И. Поспелов. – Москва : Абрис, 2012. – 646 с.

УДК 629.3.016
55.43.81 Испытания наземных безрельсовых транспортных средств и их узлов

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА ТРАНСМИССИИ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЫ В ГОРОДСКОМ ЦИКЛЕ ДВИЖЕНИЯ

Степакин Вячеслав Романович

«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» — филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», аспирант.

e-mail: v.r.stepakin@donnasa.ru

Актуальность оптимизации параметров силовых установок параллельных гибридных электромобилей возрастает в связи с ужесточением экологических норм и преобладающим движением в городской черте при реальной эксплуатации электромобилей. В данной работе исследовано влияние передаточного числа на топливную экономичность гибридной силовой установки (ГСУ) в условиях городского цикла движения.

При этих условиях движения нагрузка на ГСУ постоянно изменяется. К характерным чертам данного цикла можно отнести движение с малыми скоростями и частыми замедлениями с применением рекуперативного режима гибридной установки.

Передаточное число трансмиссии является одним из ключевых конструктивных параметров ГСУ. Изменение передаточного числа напрямую смещает рабочие точки ДВС и электродвигателя, влияет на крутящий момент, интенсивность рекуперации и длительность работы в режиме чистого электромобиля.

Ключевые слова: гибридная силовая установка, городской цикл движения, передаточное число, топливная экономичность, эффективность.

Целью данной работы является количественная оценка влияния передаточного числа трансмиссии на топливную экономичность параллельного гибридного электромобиля в условиях городского цикла движения и определение оптимального диапазона его значений.

Основной материал.

Для моделирования параметров движения с целью последующей оценки влияния передаточных чисел на топливную экономичность был выбран фрагмент Low_3 ездового цикла WLTC [2]. Выбор данного цикла обусловлен скоростным профилем цикла, учитывающим изменение скорости движения автомобиля, а также имитирующим остановки, что позволяет получить значение приближенное к реальным условиям расхода топлива. Графическое представление выбранного цикла представлено на рисунке 1.

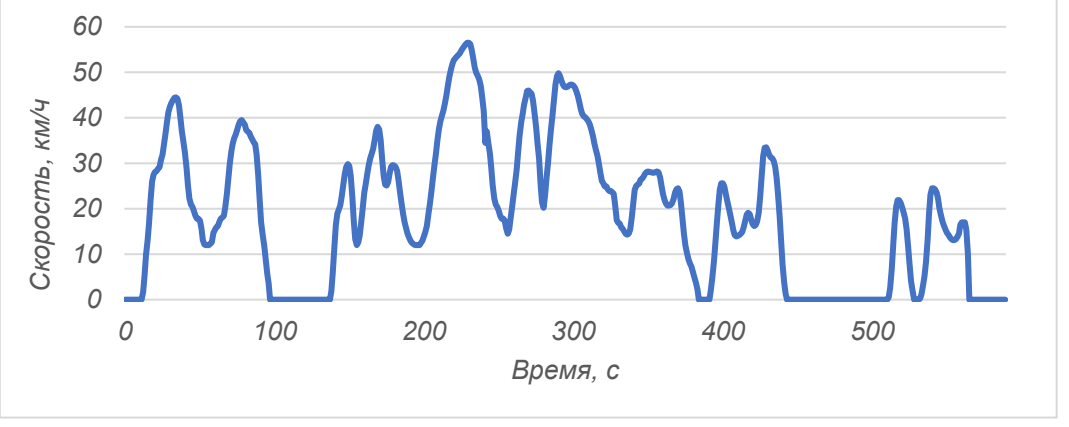


Рисунок 1 – Фрагмент цикла WLTC

При выборе объекта исследования основными критериями были:

- Исследование параметров движения серийного автомобиля, что позволяет провести сравнение полученных результатов моделирования с данными завода изготовителя для оценки математической модели.
- Параллельная схема ГСУ, так как данная схема является оптимальной при движении в городских условиях эксплуатации обладая высокой динамикой при совместной работе двух двигателей, вариативностью использования источника энергии для достижения оптимальных параметров в зависимости от условий эксплуатации. Согласно статистике, количество выпушенных гибридных электромобилей параллельного типа в 2023 году в Китае составило большую часть. [5]

Данным критериям соответствует автомобиль Changan Uni-K iDD с параллельной схемой гибридной силовой установки. Кинематическая схема его представлена на рисунке 2. Основные параметры серийного электромобиля представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1

Параметры серийного автомобиля

Параметр	Значение
Полная масса, кг	2450
Площадь поперечного сечения, м2	2.65
Коэффициент аэродинамического сопротивления	0.33
Номинальная мощность, кВт	
Бензиновый двигатель	121
Электрическая машина	110
Тип ГСУ	Параллельная
Ёмкость АКБ, кВт·ч	28.4
Тип трансмиссии	Механическая, ступенчатая
Количество передач	6

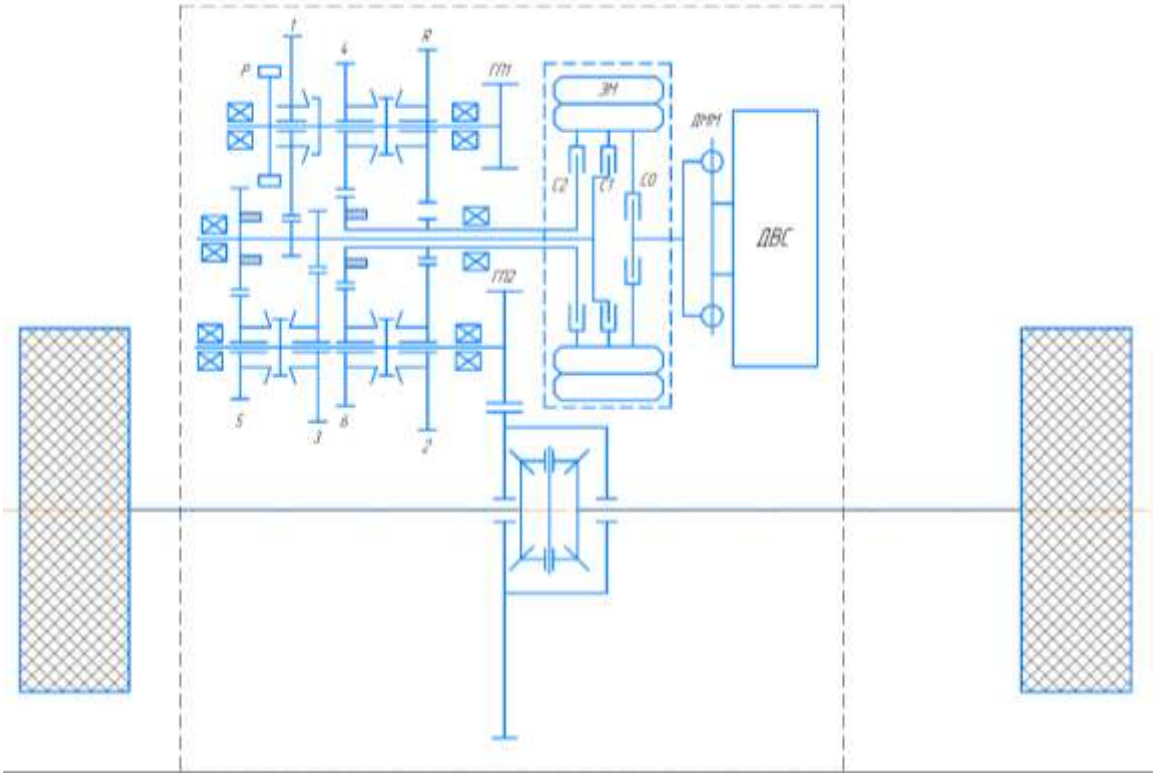


Рисунок 2 – Кинематическая схема гибридной силовой установки автомобиль Changan Uni-K iDD

Математическая модель основывается на алгоритме, описанном в работе [4], оптимизация параметров проходила по принципу, описанному в работе [3]. Критерием оптимизации является приведенный расход топлива:

$$g = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{N_{ДВС.ВСХ,i} \cdot g_e}{3,6 \cdot 10^6} - \frac{N_{тяг} \cdot g_e}{\eta_{ДВС.тр} \cdot 3,6 \cdot 10^6} \right)}{E_{заряд} - E_{АКБТ}} \quad (1)$$

где: $N_{ДВС.ВСХ,i}$ – текущая эффективная мощность ДВС по ВСХ;

g_e – текущий удельный расход топлива;

$N_{тяг}$ – необходимая тяговая мощность на колесах;

$\eta_{ДВС.тр}$ – КПД трансмиссии от ДВС;

$E_{заряд}$ – энергия, переданная генератором в тяговую батарею;

$E_{АКБТ}$ – энергия, полученная для движения от тяговой батареи.

Режимы работы ГСУ выбираются с обеспечением коэффициента нагрузки на двигатель внутреннего сгорания в диапазоне 0.64…0.71 для обеспечения минимального приведенного расхода топлива. Выбор данного диапазона обоснован выявленной в работе [4] зависимостью.

Для оценки влияния передаточных чисел проведем сравнение двух типов трансмиссии. Первый тип серийная ступенчатая трансмиссия, а второй бесступенчатая трансмиссия. Алгоритмы изменения выбранной передачи для ступенчатой трансмиссии представлен на рисунке 3. Изменения передаточных чисел бесступенчатой трансмиссии представлен на рисунке 4.

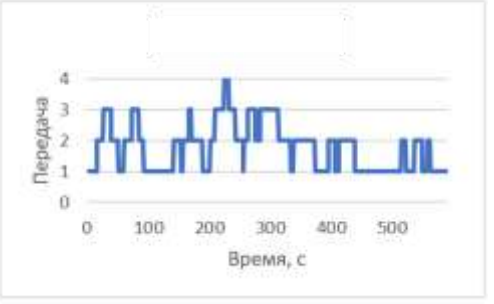


Рисунок 3 – Изменение выбранной передачи (ступенчатая трансмиссия)

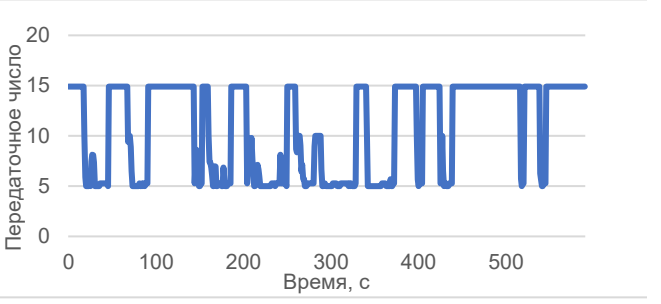


Рисунок 4 – Изменение передаточного числа (бесступенчатая трансмиссия)

На рисунках 5 и 6 представлены результаты изменения коэффициента нагрузки на двигатель внутреннего сгорания при движении в рамках городского цикла. Значения при движении на гибридном электромобиле со ступенчатой трансмиссией происходит в более широком диапазоне (0.437…0.795) изменения нагрузки и при этом выходит из оптимальных значений, описанных выше. Наиболее существенные отклонения наблюдаются в фазах разгона (коэффициент нагрузки >0,8) и при движении накатом или на малых скоростях (коэффициент <0,6), что обусловлено дискретным характером изменения передаточного числа. При движении с использованием бесступенчатой трансмиссии работа ДВС удерживается в оптимальном режиме. Такая стабилизация достигается за счёт непрерывного регулирования передаточного числа, что позволяет в реальном времени адаптировать режим работы ДВС к изменяющейся нагрузке

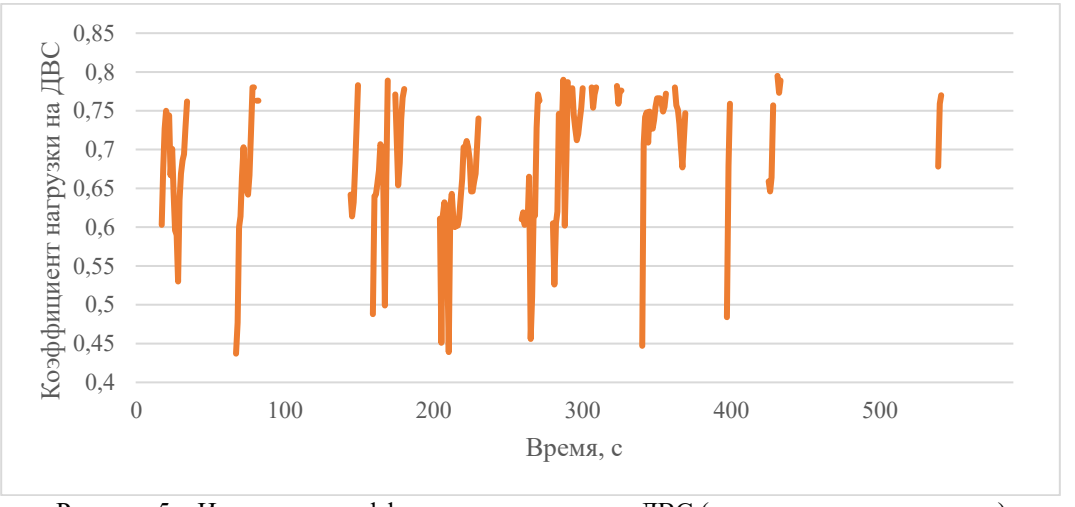


Рисунок 5 – Изменение коэффициента нагрузки на ДВС (ступенчатая трансмиссия)

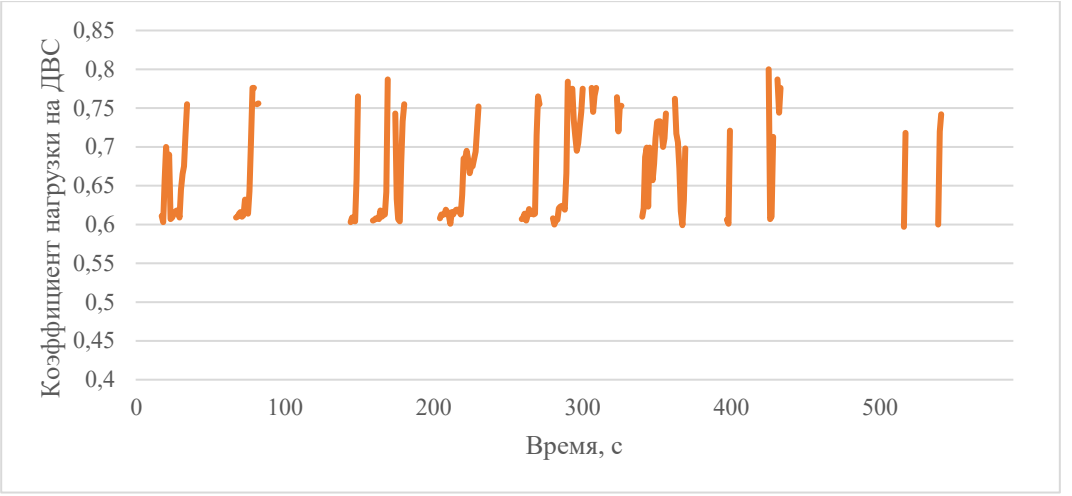


Рисунок 6 – Изменение коэффициента нагрузки на ДВС (бесступенчатая трансмиссия)

По результатам моделирования получены следующие ключевые параметры, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Результаты моделирования

Параметр	Механическая трансмиссия	Бесступенчатая трансмиссия
Средний конфидент нагрузки двигателя	0.691	0.673
Приведений расход топлива, г/(кВт*ч)	408.9	360.7

Полученные данные демонстрируют преимущество бесступенчатой трансмиссии в условиях городского цикла, где преобладают частых разгонов и торможений. Снижение приведённого расхода топлива с 408,9 до 360,7 г/(кВт·ч) объясняется двумя факторами:

1. Более точное позиционирование рабочих точек ДВС на ВСХ в зоне минимального удельного расхода за счёт непрерывного изменения передаточного числа;
2. Увеличение доли рекуперации за счет работы электрической машины в более широком диапазоне скоростей, что позволяет преобразовывать в электрическую энергию.

Выводы.

Применение бесступенчатой трансмиссии с алгоритмом оптимизации передаточного числа в реальном времени обеспечивает более стабильную нагрузку на ДВС и повышает эффективность рекуперации тормозной энергии за счёт расширения диапазона рабочих скоростей электродвигателя.

Список использованных источников

1. Changan UNI-K 1.5 DCT IDD 135km Smart (02.2023–н. в.) : технические характеристики [Электронный ресурс] // Drom.ru : автомобильный портал. – Режим доступа: https://www.drom.ru/catalog/changan/uni-k/516966/ (дата обращения: 30.04.2026). – Текст : электронный.

2. Proposal for a new global technical regulation on the Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure (WLTP) : ECE/TRANS/WP.29/2014/27 [Электронный ресурс] // United Nations Economic Commission for Europe. – Geneva : UNECE, 2014. – Режим доступа: https://unece.org/DAM/trans/doc/2014/wp29/ECE-TRANS-WP29-2014-027e.pdf (дата обращения: 30.04.2026). – Текст : электронный.

3. Блохин, А. Н. Разработка методики поиска рациональных передаточных чисел трансмиссии с учетом эксплуатационных свойств и назначения автомобиля : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.05.03 / Блохин Александр Николаевич. – Нижний Новгород, 2006. – 251 с. – EDN WEUGBB. – Текст : непосредственный.

4. Горожанкин, С. А. Выбор режимов движения гибридного электромобиля в городском цикле / С. А. Горожанкин, В. Р. Степакин // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы:

проблемы, перспективы, инновации : сборник материалов X Международной научно-практической конференции, приуроченной к 95-летию основания ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, 04 дек. 2025 г. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2026. – С. 657–662. – EDN CDHYJD. – Текст : непосредственный

5. Типология китайских гибридов / [Электронный ресурс] // Toyota-Club.Net : [сайт]. — Режим доступа: https://toyota-club.net/files/faq/23-08-01_faq_hev_china_ru.htm (дата обращения: 30.04.2026). – Текст : электронный.

УДК 625.72
84.14.15: Технические средства в проектировании и конструировании

ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Сычев Е.А.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, кафедра «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: sychev-04@yandex.ru

Матвеева Ирина Владимировна
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: times02@yandex.ru

Стремительный рост развития информационных технологий ведет к активному использованию программных комплексов при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Их применение проектировщиками играет важную роль в создании современной дорожно-транспортной инфраструктуры.

В соответствии с распоряжением Минтранса РФ «О подготовке проектной документации с использованием технологии информационного моделирования» с 2021 года вводится обязательность осуществления подготовки проектной документации на объекты транспортной инфраструктуры с использованием технологии информационного моделирования. Требования к информационной модели проектируемого объекта установлены постановлением Правительства РФ № 1431 от 15.09.2020 г. В связи с этим дорожно-строительная отрасль, в том числе и процесс проектирования переходит в стадия активного применения технологий информационного моделирования [1].

При этом нужно отметить, что первые программные комплексы для автоматизации отдельных этапов проектирования автомобильных дорог, таких как расчет геометрических параметров трассы, продольных и поперечных профилей, объёмов земляных работ, появились еще в 1970–1980-х годах. С тех пор с каждым годом происходили изменения в развитии систем автоматизированного проектирования (САПР), особенно при появлении персональных компьютеров.

В статье рассматриваются некоторые отечественные и зарубежные программные комплексы, используемые для оптимизации процессов проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

Топоматик Robur. Одним из первых отечественных программных комплексов является «Топоматик Robur». Он был разработан в России в 1991 году научно-производственной фирмой «Топоматик». Изначально данный комплекс в своей первой версии имел функционал только для проектирования продольного профиля, но на данный момент он представляет собой полноценный аппарат для выполнения множества инженерных расчетов для проектирования автомобильных дорог [2].

Программный комплекс «Топоматик Robur» имеет несколько модулей, которые помогают решать разного рода задачи (см. табл. 1). Они могут работать в единой среде, что позволяет обеспечить коллективную работу специалистов разных профилей и обмен данными между ними.

Среди основных достоинств программного комплекса стоит отметить удобство интерфейса рабочей области: окна плана, продольного и поперечного профилей можно открыть на одном экране одновременно и при изменении параметров в одном из них отображаются в других (рис. 1).

Основной отличительной особенностью программного комплекса «Топоматик Robur» от других САПР-систем является более детальная проработка при проектировании подземных коммуникаций.

Кроме того, необходимо отметить доступность программного комплекса для обучения. Разработчики дают возможность начинающим проектировщикам установить бесплатную учебную версию для ознакомления с функциями и интерфейсом. Также на их сайте в свободном доступе можно узнать о очных и дистанционных курсах и получить методические материалы. Компания НПФ «Топоматик», являющаяся разработчиком рассматриваемого комплекса, ежегодно проводит Общероссийский марафон «VTM-Robur», в котором ежегодно участвуют студенты ТГТУ, занимая призовые места [4].

Таблица 1

Модули программного комплекса «Топоматик Robur»

Модуль	Функции и назначение модуля
Изыскания	Обработка данных инженерных изысканий, взятый с геодезических приборов, и создание цифровой модели местности (ЦММ)
Автомобильные дороги	Проектирование городских улиц и загородных дорог с помощью работы с планом, продольным и поперечным профилями.
Железные дороги	Проектирование и реконструкция железных дорог и станций
Искусственные сооружения	Автоматизированное проектирование водопропускных труб и мостовых сооружений с назначением конструкций и спецификацией
Инженерные сети	Построение плана и профиля наружной сети, моделирование узлов и конструкций
Генеральные планы	Проектирование площадных объектов с вертикальной планировкой и ситуационным планом
Дорожная одежда	Расчет конструкций дорожной одежды жесткого и нежесткого типов

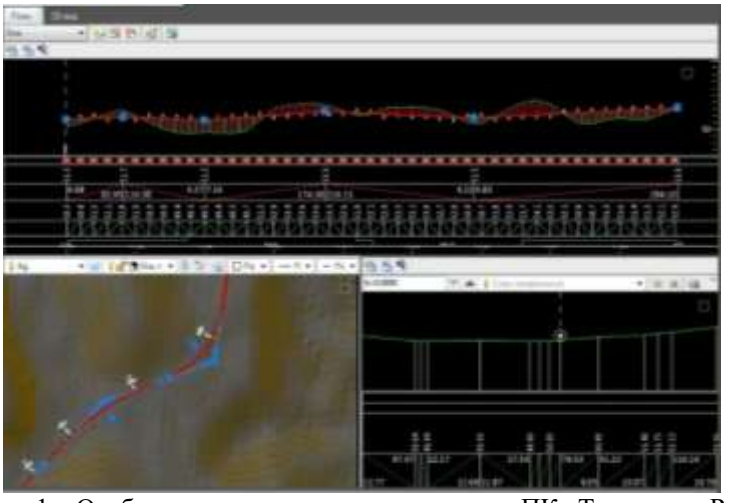


Рисунок 1 – Отображение взаимосвязанных окон в ПК «Топоматик Robur»

IndorCAD/Road. Изначально данный программный комплекс имел название ReCAD и использовался для отработки новых алгоритмов автоматизированного проектирования автомобильных дорог. Лишь после долгих переработок систем, сертификации ReCAD в марте 2003 года был переименован в IndorCAD/Road. На сегодняшний день данный программный комплекс является мощной автоматизированной системой для проектирования, реконструкции, ремонта и инженерного обустройства автомобильных дорог.

Как и в остальных программных комплексах, созданных для проектирования автомобильных дорог, в «IndorCAD/Road» трасса задаётся с помощью положения в плане и продольном профилях, а конструкция дорожной одежды – в поперечном профиле.

В системе IndorCAD/Road проектирование автомобильной дороги осуществляется в соответствии со строгим соблюдением российских стандартов (ГОСТ, СНиП), программа показывает проектировщику нарушение параметров дороги заданной категории, например, недопустимые уклоны в продольном профиле.

Для более эффектного визуального представления проектных решений заказчику в программном комплексе «IndorCAD/Road» реализованы мощные инструменты визуализации. Огромная палитра 3D-объектов, таких как остановочные павильоны, модели автомобилей и др., заложена в базовую библиотеку. При осуществлении визуализации проектных решений более наглядными становятся принятые проектировщиком проектные решения (рис.2).

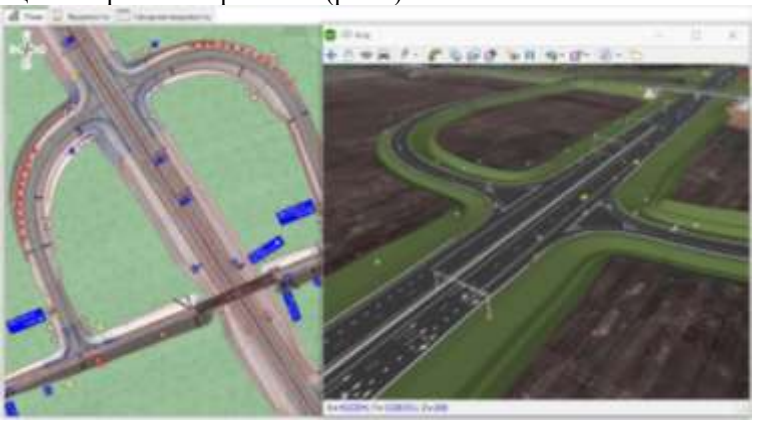


Рисунок 2 –Визуализация в ПК «IndorCAD/Road»

КРЕДО. Программный комплекс «КРЕДО» был создан в 1989 году в СССР. В то время была необходимость в цифровизации и автоматизации процессов проектирования, так как ранее все работы выполнялись на бумажных носителях. На данный момент «КРЕДО» занимает лидирующие позиции среди остальных систем автоматизированного проектирования на российском рынке. Он состоит из модульной структуры и предлагает в зависимости от решаемых задач подбирать подходящие инструменты. Модуль «Кредо Дороги» отвечает за трассировку оси дороги, создания продольного и поперечного профилей, создание информационных 3D-моделей.

Программный комплекс «КРЕДО» состоит из нескольких подсистем, в который создается и проектируется свой этап работы: CREDO_DAT – обработка геодезических данных, CREDO_TER – создание цифровой модели местности (ЦММ), CREDO_GEO – геологическое проектирование и другие подсистемы. Они тесно связаны между собой и создают общее пространство с информацией обо всех стадиях развития объекта – от изысканий до эксплуатации.

Помимо базовых функций аналогичных программных комплексов, в «КРЕДО» реализовано создание цифровой поверхности с помощью облака точек без предварительной обработки. В системе по огромному количеству точек можно быстро назначить черный профиль, продольный и поперечные профили существующей дороги, что позволяет инженеру произвести наиболее точные расчеты земляных работ (рис.3). Необходимо отметить, что облако точек возможно получить с помощью инструментов лазерного сканирования, обладающих скоростью сканирования до 300 тыс. точек/сек. Это позволяет создавать цифровую модель рельефа и инженерно-топографические планы, используемые в дальнейшем в рассматриваемых программных комплексах [3].

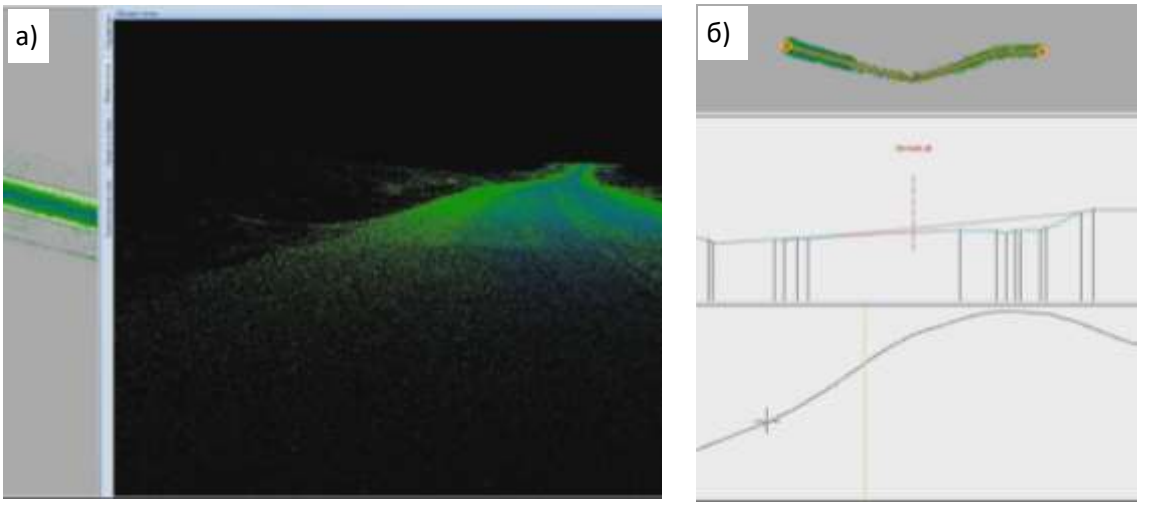


Рисунок 3 – Создание поверхности с помощью облака точек в ПК «КРЕДО»:
а – визуализация облака точек; б – создание профилей с помощью облака точек

Помимо отечественных программных комплексов известны зарубежные, которые не сильно отличаются по геометрическим особенностям проектирования, но имеют определенные отличия от отечественных аналогов.

Plateia (CGS plus LLC, Словения). Данный программный комплекс начал свое существование в 1990 году. Ключевая особенность Plateia заключается в том, что он работает на платформе AutoCAD, что позволяет проектировщикам пользоваться привычными инструментами и увеличивает возможности работы с моделями. Система Plateia имеет три конфигурации – Standard, Professional 3D, Ultimate 4D, которые отличаются функциями.

Конфигурация Standart имеет базовый набор функций, имеющийся у любого программного комплекса для проектирования автомобильных дорог: проектирование оси, поперечного и продольного профилей, создание цифровой модели местности и др.

Конфигурация Plateia Professional 3D имеет отличительные особенности по сравнению с версией Standard в цельной 3D-модели дороги и автоматизации проектирования объектов обустройства с их визуализацией (рис 4).

Plateia Ultimate 4D имеет расширенную версию, связанную с внедрением возможностей BIM-технологий, создания ведомостей с для последующего составления смет. Также имеется дополнительный модуль Autopath Swept в который включен набор инструментов для компьютерного моделирования физических параметров транспортных средств с учетом внешних воздействий и параметров автомобильной дороги.

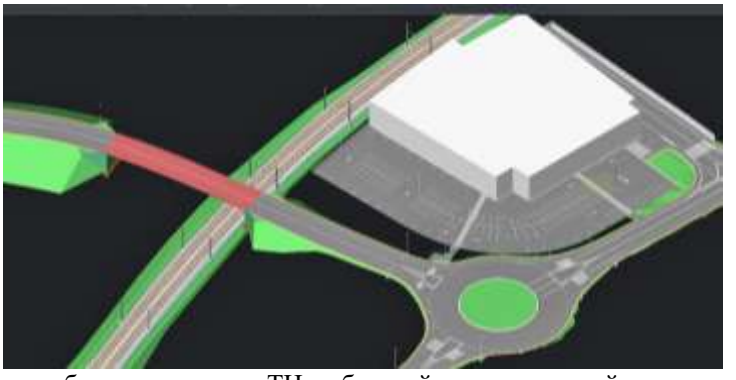


Рисунок 4 – Модель объекта площадки ТЦ с обустройством дорожной разметки, выполненная в ПК Plateia Professional 3D.

Novapoint Road (VIANOVA Systems AS, Норвегия). Разработка комплекса Novapoint Road начата в 2000-е годы. Тогда компания выпускает первые версии, направленные на проектирование автомобильных дорог. После вхождения норвежской компании VIANOVA Systems AS в холдинг Trimble экосистем, специализирующегося на производстве геодезического оборудования, программынй комплекс получил глобальное развитие в сфере геодезии и строительства. Далее разработчики добавили инструменты для создания инженерных сооружений, обустройства, что дало продукту обширные охваты по всей Европе.

Для проектирования автомобильных дорог система Novapoint Road представлена в двух конфигурациях – Standard и Professional, а также оснащена дополнительными модулями для проектирования дорожных знаков и разметки – Novapoint Road Signs, Novapoint Road Marking.

Основная особенность рассматриваемого комплекса заключается в совмещении геометрии дороги в плане с продольным профилем, что позволяет проектировщику одновременно контролировать процесс создания модели.

С учетом развития информационных технологий VIANOVA Systems создала новые решения для BIM моделирования инфраструктуры – Novapoint DCM и Quadri DCM. Novapoint DCM позволяет на всём протяжении жизненного цикла объекта использовать сохраненные данные в реконструкции, строительстве и содержании. Quardi DCM — облачная платформа, реализующая совместную работу над одним проектом и позволяющая совмещать разные данные в единую BIM-модель.

SierraSoft Roads (SierraSoft S.R.L., Италия). Итальянская компания SierraSoft разработала в 1992 году первое поколение системы ProSt для проектирования автомобильных дорог. Затем в 2015 году была выпущена новая версия программного комплекса с другим названием SierraSoft Roads. Отличительной особенностью системы является новая платформа M3 Framework, с нестандартным интерфейсом. Проектирование оси реализовано через построение последовательных сопряженных элементов, что является минусом при частом изменении планового положения. Огромное удобство

вызывают инструменты построения пересечений и примыканий, при которых изменения параметров происходят в табличном виде (рис 5).

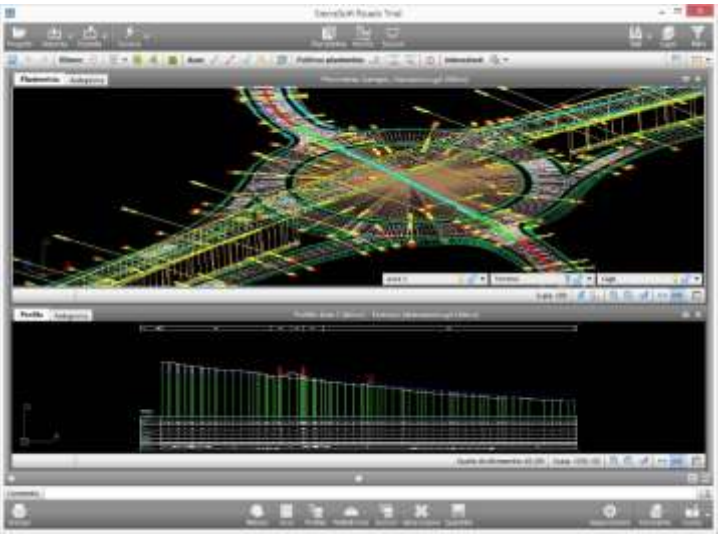


Рисунок 5 – Модель кольцевого пересечения в ПК SierraSoft Roads.

Современные программные комплексы позволяют решать инженерные задачи не только на стадии проектирования, но и при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Имея цифровую модель дороги, перенесенную в программный комплекс, возможно решение следующих задач: оценка качества строительно-монтажных работ, контроль точности геометрических параметров автомобильной дороги, проводить оценку технического состояния и контроль габарита искусственных сооружений, паспортизация и сбор информации об объектах в полосе отвода, измерение расстояний видимости и оценка безопасности движения на отдельных участках дороги [5, 6].

Список использованных источников

1. Перспективы информационного моделирования дорожных одежд / Р.А. Еремин и др. // Автомобильные дороги и мосты. – №2(30). - 2013. – С. 6-18.
2. Программные продукты Топоматик-Robur / НПФ «Топоматик» официальный сайт.: https://topomatic.ru/?ysclid=mp2pooyihl724387447. – Дата обращения: 12.05.2026.
3. Мазырин, Т. А. Информационное и геоинформационное моделирование автомобильных дорог на стадии их эксплуатации / Т. А. Мазырин, А. В. Конкин // Дороги и мосты. – 2025. – № 1(53). – С. 215-224. – DOI 10.70991/1815-896X-2025-1-53-215-224.
4. Беляев, Д. С. Создание инженерной информационной модели участка автомобильной дороги / Д. С. Беляев, Д. А. Зарапина, Е. О. Соломатин // Современная наука: теория, методология, практика : Материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конференции. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2022. – С. 130-134.
5. Соломатин, Е. О. Формирование проектной информационной модели капитального ремонта автомобильной дороги / Е. О. Соломатин, А. Ф. Третьякова // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : Материалы IX-ой Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти академика РААСН Чернышова Е.М.. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2022. – С. 350-354.
6. Матвеева, И. В. Использование информационной модели дороги на всех стадиях ее жизненного цикла / И. В. Матвеева, С. А. Сальников, Д. В. Фролов // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы 5-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2018. – С. 288-291.

УДК 656.02:619
62.1/30.1/76.2: Транспорт. Ветеринария. Зоотехния. Экономика и организация производства.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УСЛУГ ПО ПЕРЕВОЗКЕ ЖИВОТНЫХ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ В ЭКСПЕДИЦИОННУЮ ГРУППУ ВЕТЕРИНАРНЫХ СОТРУДНИКОВ

Татаринцева Анастасия Сергеевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственных технический университет», магистрант 1 курса
e-mail: anastasiatatarintseva888@gmail.com

Гавриков Владимир Александрович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственных технический университет», кандидат экономических наук, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта»
e-mail: gammby-87@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию возможностей повышения качества услуг по перевозке животных посредством включения ветеринарных специалистов в состав экспедиционных групп. Проанализированы основные проблемы, возникающие при транспортировке животных: транспортный стресс, потери живой массы, травматизация, нарушения санитарно-эпидемиологических требований. Обоснована необходимость профессионального ветеринарного сопровождения на всех этапах перевозки – от погрузки до разгрузки. Рассмотрены нормативно-правовые основы ветеринарного контроля при перемещении животных по территории Российской Федерации. Предложены организационные меры по интеграции ветеринарных сотрудников в экспедиционные группы, включая определение функциональных обязанностей, требований к квалификации, взаимодействия с транспортными службами. Показано, что присутствие ветеринарного специалиста в составе экспедиции позволяет оперативно реагировать на изменение состояния животных, предотвращать развитие патологических процессов, обеспечивать соблюдение ветеринарно-санитарных норм. Практическая значимость исследования заключается в разработке рекомендаций по совершенствованию организации перевозок животных в современных условиях развития животноводческой отрасли.

Ключевые слова: перевозка животных, транспортный стресс, ветеринарное сопровождение, экспедиционная группа, качество услуг, благополучие животных, ветеринарный контроль.

Современное состояние транспортировки животных и актуальные проблемы отрасли

Перевозка животных представляет собой критически важный элемент функционирования животноводческой отрасли, напрямую влияющий на продовольственную безопасность государства. В 2021 году только по территории Российской Федерации было транспортировано 4,49 миллиарда голов животных, из которых 98,2 процента составила сельскохозяйственная птица [1]. При этом 99,9 процента всех перевозок осуществлялось автомобильным транспортом, что обусловлено гибкостью маршрутов и относительной доступностью данного вида транспорта. Впрочем, массовость перевозок не означает отсутствия проблем – напротив, масштаб явления лишь усиливает его значимость.

Транспортировка животных сопряжена с повышенными рисками распространения возбудителей инфекционных заболеваний. Это делает ветеринарный контроль не просто желательной, а обязательной составляющей логистического процесса. Однако действующая система регулирования демонстрирует существенную неравномерность: если для железнодорожных перевозок существуют детальные правила, утвержденные приказом Минтранса России от 19 октября 2020 года № 427, то для автомобильного транспорта – наиболее распространенного способа перемещения животных – специализированных правил до настоящего времени не разработано [2].

Транспортный стресс остается одной из наиболее острых проблем современной логистики живых грузов. Животные, подвергаясь воздействию комплекса неблагоприятных факторов – вибрация, шум, скученность, недостаток воды и корма, перепады температуры, – испытывают физиологические изменения, негативно влияющие как на их здоровье, так и на качество получаемой впоследствии продукции. Исследования показывают, что потери живой массы в зависимости от длительности транспортировки могут достигать 2–10 процентов, а восстановительный период занимает от 48 до 72 часов [3]. Более того, транспортный стресс провоцирует развитие таких дефектов мясного сырья, как PSE (бледное, мягкое, водянистое мясо) и DFD (темное, плотное, сухое мясо), что приводит к прямым экономическим потерям производителей.

Организационные аспекты текущей практики перевозок демонстрируют серьезные пробелы. Животные сопровождаются проводниками или водителями, функциональные обязанности которых ограничиваются обеспечением кормления, поения и контролем общего состояния поголовья. При

возникновении нештатных ситуаций – массовых заболеваний, падежа, отказа от корма – проводники обязаны уведомлять территориальные управления Россельхознадзора, однако время реагирования на такие случаи может составлять несколько часов. В этот период животные остаются без квалифицированной ветеринарной помощи, что усугубляет последствия патологических процессов.

Современные международные тенденции в сфере благополучия животных ориентированы на минимизацию длительности перевозок, увеличение пространства для размещения животных, контроль температурного режима. Европейский союз в декабре 2023 года принял предложение о пересмотре регламента по защите животных при транспортировке, предусматривающее ограничение длительности перевозок до 9 часов для животных, предназначенных для убоя, и до 21 часа с обязательной разгрузкой и 24-часовым отдыхом для прочих категорий животных [4]. Ключевым элементом предложенной реформы является усиление контрольных функций, в том числе за счет цифровизации и повышения требований к квалификации персонала, сопровождающего животных.

Российская практика пока не предусматривает столь жестких ограничений по срокам транспортировки, что создает дополнительные вызовы для обеспечения благополучия животных.

Ветеринарно-санитарные требования и роль специалистов в их обеспечении

Перемещение животных по территории Российской Федерации регламентируется комплексом нормативных актов, центральное место в котором занимают Ветеринарные правила перемещения животных и кормов, утвержденные приказом Минсельхоза России от 27 декабря 2016 года № 589. Согласно положениям данного документа, животные подлежат обязательному сопровождению ветеринарными сопроводительными документами – ветеринарным свидетельством формы № 1 или ветеринарным сертификатом формы № 5а, оформленными государственными ветеринарными специалистами на основании результатов клинического осмотра [5]. Оформление этих документов производится не ранее чем за 5 суток до отправки, что предполагает предварительную ветеринарную оценку эпизоотического статуса территории, состояния здоровья животных, наличия актуальных прививок.

Однако документальное сопровождение, осуществляемое до начала перевозки, не гарантирует сохранение благополучного состояния животных в процессе транспортировки. Физиологические изменения, вызванные транспортным стрессом, могут проявляться на любом этапе пути следования. У животных возможно развитие гипертермии при нарушении температурного режима, обострение хронических заболеваний, травматизация в результате резких торможений или неправильной фиксации. По данным исследований, проведенных на крупном рогатом скоте, адаптационный период после транспортировки составляет от 8 до 16 часов в зависимости от сезона, причем в зимний период восстановление занимает вдвое больше времени, чем летом [3].

Действующая система предполагает, что контроль за состоянием животных в пути следования возлагается на проводников – лиц без ветеринарной квалификации. Приказ Минтранса России № 427 устанавливает для железнодорожного транспорта обязанность проводников в срок не позднее трех часов с момента начала массового или единичного заболевания либо падежа животных уведомлять об этом должностных лиц Россельхознадзора на территории, где находится железнодорожная станция. Вместе с тем, проводник зачастую не обладает компетенциями для ранней диагностики патологических состояний, оценки степени их тяжести, принятия первичных мер реагирования.

Существенная проблема заключается в фрагментарности ветеринарного контроля: специалист проводит осмотр при оформлении сопроводительных документов, затем – в пункте назначения при приемке животных. Промежуточный период, длительность которого может достигать нескольких суток, остается вне зоны профессионального ветеринарного внимания. Это создает ситуацию, когда изменения в состоянии животных фиксируются с существенным запаздыванием, и возможности для коррекции оказываются упущенными.

Международный опыт свидетельствует о тенденции к усилению роли ветеринарных специалистов при транспортировке животных. Регламент Европейского союза № 1/2005, подлежащий пересмотру, предусматривал обязательность присутствия ветеринарного врача на борту морских судов при первых рейсах после получения разрешения на эксплуатацию, а с февраля 2023 года это требование распространено на все морские перевозки продолжительностью более 24 часов [6]. Подобная практика направлена на обеспечение постоянного мониторинга состояния животных, оперативного выявления признаков заболеваний или дистресса, проведения необходимых ветеринарных манипуляций непосредственно в процессе перевозки.

Российское законодательство таких императивных требований для автомобильного и железнодорожного транспорта не содержит. Тем не менее, практика коммерческих перевозок породила запрос на услуги ветеринарного сопровождения: специализированные компании, оказывающие услуги по международной перевозке домашних животных, включают в пакет услуг выезд ветеринарного врача на дом, оформление документов, консультационную поддержку на всех этапах [7]. Такой подход,

однако, применяется преимущественно для малочисленных групп животных-компаньонов и редко распространяется на массовые коммерческие перевозки сельскохозяйственных животных.

Практическая реализация модели ветеринарного сопровождения экспедиций

Интеграция ветеринарных специалистов в состав экспедиционных групп, осуществляющих перевозку животных, требует выстраивания четкой организационной структуры, определения функциональных обязанностей, критериев квалификации персонала. Речь идет не о формальном присутствии, а о создании действенного механизма обеспечения благополучия животных на протяжении всего маршрута транспортировки.

Ключевые функции ветеринарного специалиста в составе экспедиционной группы могут включать:

- предрейсовый осмотр животных с целью выявления клинически здоровых особей, готовых к перевозке, и исключения животных с признаками заболеваний или физиологическими состояниями, делающими транспортировку недопустимой;
- контроль условий размещения животных в транспортном средстве, включая плотность посадки, наличие вентиляции, температурный режим, обеспечение подстилкой;
- мониторинг состояния животных в процессе движения, периодические осмотры на остановочных пунктах;
- оперативное реагирование на нештатные ситуации: оказание первой ветеринарной помощи при травмах, признаках теплового удара, острых заболеваниях;
- координацию действий с территориальными ветеринарными службами при возникновении подозрения на инфекционные заболевания;
- документирование всех ветеринарных мероприятий, проведенных в процессе перевозки, и состояния животных на ключевых этапах маршрута.

Присутствие ветеринарного специалиста позволяет выявлять признаки транспортного стресса на ранних стадиях. Клиническими маркерами стресса являются учащение дыхания, повышение частоты сердечных сокращений, изменение соотношения гетерофилов к лимфоцитам в крови, снижение общего белка сыворотки [8]. Хотя проведение лабораторных исследований в условиях транспортировки затруднительно, опытный ветеринарный врач способен по клиническим признакам – вялость, отказ от корма и воды, мышечная дрожь, расширение зрачков – оценить степень стрессового воздействия и принять корректирующие меры. Например, при признаках теплового стресса может быть инициирована внеплановая остановка для проветривания транспортного средства, обеспечения дополнительного поения, перераспределения животных внутри кузова.

Важным аспектом является взаимодействие ветеринарного специалиста с водителем или проводником. Водитель принимает решения о скорости движения, режиме остановок, выборе маршрута; проводник отвечает за кормление, поение, поддержание санитарного порядка. Ветеринарный специалист выполняет координирующую и консультативную роль, обеспечивая соответствие всех действий требованиям ветеринарно-санитарного благополучия. При этом ветеринар не дублирует функции водителя или проводника, а дополняет их профессиональными компетенциями в области физиологии, патологии, эпизоотологии животных.

Квалификационные требования к ветеринарным специалистам, включаемым в состав экспедиционных групп, должны предусматривать наличие высшего ветеринарного образования, практического опыта работы с соответствующими видами животных, знания специфики транспортного стресса и методов его купирования. Целесообразно введение обязательного обучения по программам дополнительного профессионального образования, посвященным вопросам логистики животных, международных стандартов благополучия животных при транспортировке, правил оформления ветеринарной документации для различных видов перевозок.

Логистические компании, специализирующиеся на международных перевозках домашних животных, уже сегодня предлагают комплексные решения, включающие ветеринарное сопровождение на всех этапах – от предрейсовой подготовки до передачи животного получателю [9]. В состав услуги входит организация клинического осмотра, оформление ветеринарных сертификатов, подбор контейнеров в соответствии со стандартами IATA, сопровождение животного курьером или ветеринарным специалистом в аэропорту, мониторинг состояния животного в процессе перелета. Такой подход демонстрирует практическую осуществимость интеграции ветеринарной составляющей в логистический процесс, хотя пока преимущественно в сегменте индивидуальных перевозок.

Для массовых коммерческих перевозок сельскохозяйственных животных подобная модель требует адаптации. Экономическая целесообразность включения ветеринарного специалиста в экспедиционную группу должна оцениваться с учетом потенциального сокращения потерь живой массы, снижения падежа, улучшения качества мясной продукции. Если транспортировка приводит к потере 6–10 процентов живой массы и последующему ухудшению качества мяса, то издержки на ветеринарное сопровождение могут быть компенсированы сохранением товарной ценности поголовья.

Перспективы развития и практические рекомендации

Совершенствование системы перевозки животных должно опираться на комплексный подход, сочетающий нормативное регулирование, организационные инновации, технологическое оснащение. Внедрение ветеринарного сопровождения экспедиций представляет собой один из ключевых элементов такого подхода, обеспечивающий профессиональный контроль на всех этапах транспортного процесса.

Нормативное закрепление требований к ветеринарному сопровождению могло бы стать логичным продолжением существующих правил. Если для железнодорожного транспорта правила перевозки животных уже утверждены, то для автомобильного транспорта, на долю которого приходится подавляющее большинство перевозок, подобного документа не существует. Разработка и утверждение Правил перевозки животных автомобильным транспортом с включением положений о ветеринарном сопровождении позволили бы создать единообразные стандарты, обязательные для всех участников рынка. Такой документ мог бы определять категории перевозок, требующих обязательного присутствия ветеринарного специалиста – например, транспортировка на расстояние свыше 500 километров, перевозка особо ценного племенного поголовья, международные перевозки.

Цифровизация процессов открывает дополнительные возможности для контроля благополучия животных. Европейский союз в рамках реформы регламента о защите животных при транспортировке предусматривает обязательное оснащение транспортных средств системами GPS-мониторинга, датчиками температуры и влажности, цифровыми журналами учета состояния животных [4, 10]. Ветеринарный специалист в составе экспедиционной группы мог бы использовать мобильные приложения для фиксации данных клинических осмотров, оперативной передачи информации в ветеринарные службы, доступа к электронным базам данных по эпизоотической обстановке на маршруте следования. Интеграция таких технологий с государственной информационной системой в области ветеринарии (ФГИС «ВетИС») обеспечила бы прозрачность и прослеживаемость всех ветеринарных мероприятий.

Экономические стимулы могли бы способствовать добровольному внедрению ветеринарного сопровождения до появления императивных законодательных норм. Страховые компании, предоставляющие услуги по страхованию грузов, в том числе животных, могли бы дифференцировать тарифы в зависимости от наличия ветеринарного сопровождения, признавая его фактором снижения рисков. Потребители животноводческой продукции, особенно крупные перерабатывающие предприятия и розничные сети, ориентированные на премиальные сегменты рынка, могли бы устанавливать требования к поставщикам о соблюдении стандартов благополучия животных, включая ветеринарное сопровождение транспортировки. Такой рыночный механизм создавал бы конкурентные преимущества для добросовестных участников рынка.

Подготовка кадров представляет собой еще один важный элемент системы. Программы дополнительного профессионального образования для ветеринарных специалистов должны включать модули, посвященные логистике животных, международным стандартам транспортировки, практическим навыкам оказания экстренной ветеринарной помощи в условиях ограниченных ресурсов. Целесообразно также обучение водителей и проводников основам распознавания признаков стресса и заболеваний у животных, что повысило бы уровень взаимодействия с ветеринарными специалистами и позволило бы раньше выявлять проблемы.

Наконец, необходим системный мониторинг результатов внедрения ветеринарного сопровождения. Собираемые данные о частоте нештатных ситуаций, потерях живой массы, качестве мясной продукции, экономических показателях перевозок с ветеринарным сопровождением и без него позволят объективно оценить эффективность данной меры, выявить оптимальные модели ее реализации для различных категорий животных, видов транспорта, протяженности маршрутов.

Заключение

Повышение качества услуг по перевозке животных представляет собой актуальную задачу, решение которой требует многофакторного подхода. Транспортный стресс, потери живой массы, риски распространения инфекционных заболеваний, ухудшение качества мясной продукции – комплекс проблем, сопровождающих современную практику транспортировки животных, может быть существенно смягчен за счет профессионального ветеринарного сопровождения экспедиций.

Включение ветеринарных специалистов в состав экспедиционных групп обеспечивает непрерывность ветеринарного контроля на всех этапах маршрута – от предрейсового осмотра до приемки животных в пункте назначения. Это позволяет оперативно выявлять признаки патологических состояний, реагировать на изменения условий транспортировки, координировать действия с территориальными ветеринарными службами, обеспечивать соблюдение ветеринарно-санитарных норм.

Реализация данной модели требует решения комплекса нормативных, организационных, экономических вопросов. Необходимы разработка правил перевозки животных автомобильным

транспортом с закреплением требований к ветеринарному сопровождению, подготовка специализированных кадров, создание экономических стимулов для участников рынка, внедрение цифровых технологий мониторинга состояния животных.

Международный опыт, в частности реформы законодательства Европейского союза в области благополучия животных при транспортировке, демонстрирует усиление роли профессионального ветеринарного контроля, что подтверждает актуальность аналогичных подходов для российской практики. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку детальных регламентов взаимодействия ветеринарных специалистов с прочими участниками экспедиционной группы, определение критериев обязательности ветеринарного сопровождения для различных категорий перевозок, оценку экономической эффективности предлагаемой модели на основе пилотных проектов в различных регионах страны и отраслях животноводства.

Список использованных источников

1. Власова Ю.Г., Хандогина А.В. Нормативное регулирование перевозки сельскохозяйственных животных железнодорожным и воздушным транспортом // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (48). С. 174–181. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/normativnoe-regulirovanie-perevozki-selskohozyaystvennyh-zhivotnyh-zheleznodorozhnym-i-vozdushnym-transportom (дата обращения: 16.04.2026).
2. Воробьева Н.В. Правовые аспекты перевозки животных на борту воздушного судна // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2021. Т. 2. № 7. С. 692–694. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-aspekty-perevozki-zhivotnyh-na-bortu-vozdushnogo-sudna (дата обращения: 16.04.2026).
3. Ефимова Л.В., Королева Л.В., Зазулина Е.А. Влияние различных стресс-факторов на организм сельскохозяйственных животных (обзор) // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 52–60. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-razlichnyh-stress-faktorov-na-organizm-selskohozyaystvennyh-zhivotnyh-obzor (дата обращения: 16.04.2026).
4. European Commission. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the protection of animals during transport and related operations. COM(2023) 770 final. Brussels, 2023. URL: https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-12/aw_in-transit_reg-proposal_2023-770_0.pdf (дата обращения: 16.04.2026).
5. Ковалев С.П. Правовое регулирование ветеринарной деятельности: состояние, актуальные задачи // Ветеринария и кормление. 2014. № 2. С. 4–7. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-veterinarnoy-deyatelnosti-sostoyanie-aktualnye-zadachi (дата обращения: 16.04.2026).
6. Марина А.С., Соколова Е.В. Осуществление таможенными органами ветеринарного контроля товаров, перемещаемых через таможенную границу: проблемы и пути решения // Экономика и предпринимательство. 2024. № 3 (164). С. 1273–1276. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osuschestvlenie-tamozhennymi-organami-veterinarnogo-kontrolya-tovarov-peremeschaemyh-cherez-tamozhennuyu-granitsu-problemy-i-puti (дата обращения: 16.04.2026).
7. Письмо Россельхознадзора от 21.09.2023 № ФС-КС-7/23154 «О перемещении животных по территории Российской Федерации, в том числе с последующим вывозом за рубеж». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_458233/ (дата обращения: 16.04.2026).
8. Погодаев В.А., Близнецова Г.Н., Голубева В.И. Влияние транспортировки на организм свиней // Свиноводство. 2010. № 3. С. 38–40. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-transportirovki-na-organizm-sviney (дата обращения: 16.04.2026).
9. Приказ Минтранса России от 19.10.2020 № 427 «Об утверждении Правил перевозок железнодорожным транспортом животных» (Зарегистрировано в Минюсте России 15.02.2021 № 62498). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_377044/ (дата обращения: 16.04.2026).
10. Regulation (EC) No 1/2005 of 22 December 2004 on the protection of animals during transport and related operations. Official Journal of the European Union. 2005. L 3/1. URL: https://food.ec.europa.eu/animals/animal-welfare/animal-welfare-during-transport_en (дата обращения: 16.04.2026).

УДК 621.311
73.31.75: Экономика, организация, управление, планирование и прогнозирование на автомобильном транспорте

УСЛОВИЯ, НАПРАВЛЕНИЯ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФОРМИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА МОСКВЫ

Филиппова Римма Владимировна,
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», кандидат экономических наук, доцент кафедры «Автомобильные перевозки»
e-mail: filippovaRV@transport.mos.ru

Феньков Иван Алексеевич
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», соискатель ученой степени кандидата технических наук
e-mail: fenkovIA@transport.mos.ru

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы формирования инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения наземного городского пассажирского транспорта общего пользования в условиях перехода на электробусы. На примере г. Москвы, реализующего одну из самых масштабных в мире программ обновления парка, проведен анализ ключевых факторов, определяющих эффективность функционирования зарядной инфраструктуры для электробусов. Цель исследования — повышение эффективности работы системы городского пассажирского транспорта общего пользования на основе детального изучения распределения потоков подвижного состава на зарядных станциях с учетом технических, экологических и эксплуатационных особенностей. Методологическая база работы включает системный анализ, методы математической статистики, построение матриц доступности зарядных ресурсов, а также сравнительный технико-экономический анализ. В ходе исследования рассмотрены существующие подходы к выбору мест для размещения ультрабыстрых зарядных станций, включая процедуры согласования и оценки транспортной целесообразности. На примере характерного зарядного хаба установлены закономерности неравномерной загрузки инфраструктуры в течение суток. Также в работе приведен сравнительный анализ затрат на эксплуатацию электробусов и дизельных автобусов. Результаты работы позволяют сформулировать рекомендации, направленные на повышение регулярности движения, устойчивости системы к сбоям и эффективности использования существующей зарядной инфраструктуры. Предлагаемые меры ориентированы на совершенствование подходов к планированию, внедрение более гибкого управления очередью зарядки, разработку четких алгоритмов действий при возникновении нештатных ситуаций, а также на оптимизацию состава парка и расписания движения. Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенных подходов для повышения эффективности эксплуатации электробусного транспорта в крупных городских агломерациях.*

Ключевые слова: *пассажирский транспорт, топливно-энергетическое обеспечение, инфраструктура, электробусы, ультрабыстрые зарядные станции, динамическая пропускная способность, эксплуатационная эффективность, городская агломерация.*

Введение

Современный этап развития крупнейших городских агломераций характеризуется глубокой трансформацией транспортных систем, ключевым вектором которой является переход к низкоуглеродной и экологически устойчивой мобильности. В рамках этой парадигмы особое значение приобретает сектор наземного городского пассажирского транспорта общего пользования (НГПТОП), как основа обеспечения массовых ежедневных перемещений населения и снижения антропогенной нагрузки на городскую среду. Влияние транспорта на экологию и городскую среду Москвы является критическим фактором, определяющим качество жизни миллионов горожан. Замена автобусов с двигателями внутреннего сгорания на электробусы позволяет кардинально снизить выбросы парниковых газов и загрязняющих веществ, а также существенно уменьшить шумовое загрязнение, особенно в ночное время и вблизи жилых массивов.

В г. Москве реализуется одна из самых масштабных в мире программ обновления парка НГПТОП.

Согласно стратегическим планам развития транспортного комплекса города до 2030 года, доля электробусов в парке должна достигнуть 83%, что составит около 6000 единиц подвижного состава. К апрелю 2026 года парк электробусов в Москве уже достигает численности в 3000 единиц, обслуживающих более 270 маршрутов. Однако, технологический переход на электрическую тягу порождает новую системную зависимость. Роль инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения в системе НГПТОП кардинально меняется.

Для электробусов ключевым элементом такой экосистемы становится сеть ультрабыстрых зарядных станций (УБЗС), которая из вспомогательного элемента превращается в критически важную подсистему обеспечивающей инфраструктуры, определяющую надежность и регулярность перевозок. Параметры данной инфраструктуры — мощность УБЗС, их количество на отстойно-разворотных площадках (ОРП), пропускная способность — напрямую влияют на такие эксплуатационные показатели, как время оборота на маршруте, возможность соблюдения расписания и коэффициент выпуска подвижного состава на линию.

Вопросы формирования инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения, представляющей эффективное развитие транспортных систем и региональной экономики, рассматривались в трудах отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 3, 4, 5, 12]. Данные работы посвящены формированию параметров транспортно-энергетической инфраструктуры, исходя из уровня развития производства и социальной сферы. Данные работы посвящены формированию параметров транспортно-энергетической инфраструктуры, исходя из уровня развития производства и социальной сферы. Вместе с тем, существующие исследования, как правило, сосредоточены либо на макроуровне (стратегическое планирование развития сети), либо на микроуровне (технические характеристики единичной станции). Недостаточно изученным остается операционный уровень — вопросы синхронизации потоков подвижного состава с пропускной способностью зарядной инфраструктуры в реальном времени, особенно в часы пиковых нагрузок.

Целью настоящего исследования является повышение эффективности работы системы городского наземного пассажирского транспорта г. Москвы на основе детального анализа распределения потока транспортных средств на зарядных станциях в будние дни в часы пик с учетом технических, экологических и эксплуатационных особенностей подвижного состава и обеспечения соответствующей транспортной инфраструктуры.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) выявить условия и факторы, определяющие формирование инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения НГПТОП, включая институциональные механизмы размещения УБЗС и их стоимостные параметры;

2) провести анализ плановых расписаний для маршрутов электробусов на примере характерного зарядного хаба и определить максимальную загрузку УБЗС в различные временные интервалы;

3) выполнить сравнительный анализ экономической эффективности эксплуатации электробусов и дизельных автобусов с учетом инфраструктурной составляющей и действующих тарифов;

4) сформулировать рекомендации по повышению эффективности использования зарядной инфраструктуры.

Условия и факторы формирования зарядной инфраструктуры

Формирование инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения НГПТОП в условиях крупного мегаполиса определяется сложным комплексом взаимосвязанных условий и факторов, которые можно разделить на несколько групп.

Экологические условия. Ключевым драйвером перехода на электробусный транспорт является необходимость снижения антропогенной нагрузки на городскую среду. Экологический эффект от внедрения электробусов уже сегодня измеряется сотнями тысяч тонн предотвращенных выбросов CO_2.

В таблице 1 представлены сравнительные экологические показатели электробуса и дизельного автобуса большого класса, эксплуатируемых в г. Москве.

Замена одного дизельного автобуса на электробус обеспечивает ежегодное сокращение выбросов диоксида углерода на 60 тонн, полностью исключает эмиссию твердых частиц и оксидов азота. По данным Мосэкомониторинга кумулятивный эффект от эксплуатации московского парка электробусов с 2018 по 2024 год позволил предотвратить выброс более 190 тыс. тонн CO_2. Кроме того, уровень шума от электробусов на 10–15 дБА ниже, чем у дизельных аналогов, что существенно повышает комфортность городской среды. Таким образом, экологический императив формирует устойчивый спрос на развитие зарядной инфраструктуры, обеспечивающей возможность эксплуатации электробусов в масштабах всего города [13].

Таблица 1

Сравнительные экологические показатели электробуса
и дизельного автобуса [6, 7]

Показатель	Дизельный автобус (ЛиАЗ-5292, Евро-5)	Электробус (КАМАЗ-6282)
Выбросы CO_2, тонн/год (при пробеге 60 тыс. км)	60,0	0
Выбросы NO_x, кг/год	450	0
Выбросы твердых частиц (PM), кг/год	25	0
Уровень шума при разгоне, дБА	78–82	68–72

Градостроительные условия. Размещение УБЗС в условиях сложившейся плотной застройки Москвы сопряжено с рядом ограничений. Требуется наличие свободного пространства для организации заездных карманов и зон маневрирования электробусов, а также возможность подключения к электрическим сетям необходимой мощности (до 300 кВт на одну УБЗС). Это делает практически невозможным размещение крупных зарядных парков в центральной части города, где исторически сложилась высокая плотность маршрутной сети, и требует тщательного выбора мест на периферии и в районах новой застройки.

Технические условия. Параметры зарядной инфраструктуры должны быть синхронизированы с характеристиками подвижного состава. В Москве эксплуатируются электробусы двух основных категорий: с обычным запасом хода (ОЗХ) и с увеличенным запасом хода (УЗХ). Для машин категории ОЗХ (ЛиАЗ-6274, ранние модификации КАМАЗ-6282) характерен режим частых, но непродолжительных подзарядок. Для машин категории УЗХ (ЛиАЗ-6274/80, КАМАЗ-6282/80, КАМАЗ-52222), обладающих большей емкостью тяговых аккумуляторных батарей (доступная энергия 161,1 кВтч), оптимальным является режим менее частых, но более длительных зарядных сессий. Неоднородность парка по техническим характеристикам необходимо учитывать при планировании загрузки конкретных ОРП [8].

Организационно-институциональные условия. Ведущим фактором, обеспечивающим системность развития зарядной инфраструктуры, является механизм выбора мест для УБЗС и их согласования. Процесс выбора адресов размещения УБЗС начинается с планируемых эксплуатационных площадок (филиалов) поставки подвижного состава. На основе анализа маршрутной сети, прикрепленной к этим паркам, определяются крупные ОРП, на которых необходимо установить зарядные станции. С учетом параметров маршрутов, прежде всего длины оборотного рейса, рассчитывается потребность в количестве УБЗС на каждом адресе, при этом учитываются имеющиеся ограничения — площадь ОРП, наличие подземных коммуникаций и другие градостроительные факторы [9].

Сформированный адресный перечень потенциальных мест размещения УБЗС направляется на обязательную экспертизу и согласование в ГКУ «Организатор перевозок», подведомственное Департаменту транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы. Специалисты этой организации оценивают предлагаемый адрес с позиции транспортной целесообразности: насколько удобно расположение для заезда электробусов, соответствует ли оно существующему и перспективному расписанию, не создаст ли помех для движения других видов транспорта. Только после получения положительного заключения проект переходит в фазу технологического присоединения к электрическим сетям, что предполагает взаимодействие с сетевыми компаниями (АО «Мосэнергосбыт» и другими) и решение вопросов по выделению необходимой мощности. Данная многоступенчатая процедура, занимающая от 6 до 18 месяцев, призвана гарантировать, что каждый вновь вводимый объект будет органично интегрирован в единую транспортную систему города.

Экономические условия. Инфраструктура топливно-энергетического обеспечения характеризуется высокой капиталоемкостью. Согласно данным по офертам 2026 года, средняя себестоимость одного поста УБЗС составляет 15,2 млн руб. Расходы на технологическое присоединение и монтаж УБЗС на объекте составляют дополнительно порядка 33 млн руб. и 2,15 млн руб. соответственно. Таким образом, совокупные капитальные затраты на создание одного зарядного поста в среднем могут достигать 50,35 млн руб. При этом сроки окупаемости таких инвестиций, учитывая амортизацию оборудования и затраты на электроэнергию, являются длительными (10–15 лет), что подчеркивает важность безошибочного стратегического планирования на этапе выбора мест размещения.

Эксплуатационные условия. Фактическая загрузка УБЗС определяется структурой маршрутной сети и расписанием движения. Маршруты из филиала прикрепляются к ближайшей ОРП по принципу

территориальной близости. Распределение транспортных средств по зарядным постам внутри ОРП осуществляется по принципу «первым прибыл — первым обслужен»: водитель занимает любой свободный пост по прибытии на конечную станцию. Такой подход, будучи простым в реализации, не учитывает в полной мере такие факторы, как срочность зарядки (текущий уровень заряда), приоритетность маршрута, время до следующего рейса по расписанию. Кроме того, система характеризуется высокой зависимостью от поставщиков энергоносителей, когда тариф на электроэнергию для зарядных станций подлежит ежемесячному пересмотру и на 2026 год составляет в среднем 10,59 руб./кВт·ч с учетом НДС.

Анализ загрузки зарядной инфраструктуры на примере хаба «Осташковская – Холмогорская»

Для иллюстрации общих закономерностей функционирования зарядной инфраструктуры рассмотрим характерный зарядный хаб, расположенный в Северо-Восточном административном округе (СВАО) г. Москвы. Данный хаб объединяет две близкорасположенные ОРП: «Осташковская» (оснащена 7 УБЗС, обслуживает 55 единиц подвижного состава на 6 маршрутах) и «Холмогорская» (оснащена 4 УБЗС, обслуживает 30 единиц подвижного состава на 2 маршрутах). Расстояние между ОРП не превышает 5 км, что создает потенциальную возможность для оперативного маневрирования. Среднесуточная нагрузка на одну УБЗС в этом хабе является одной из самых высоких в СВАО: на ОРП «Осташковская» она составляет 7,86 электробуса на пост, на ОРП «Холмогорская» — 7,5 электробуса на пост.

На основе анализа плановых расписаний зарядных сессий, предоставленных ГУП «Мосгортранс», для этого хаба была построена матрица доступности зарядных ресурсов с шагом дискретизации 30 минут (таблица 2). Каждый элемент матрицы показывает максимальное количество свободных зарядных постов на соответствующем ОРП в течение данного получасового интервала. Нулевое значение означает полную занятость всех УБЗС.

Анализ представленной матрицы позволяет выявить ряд характерных закономерностей, имеющих значение для всей системы зарядной инфраструктуры Москвы.

В ночной период (с 00:00 до 04:00) оба ОРП располагают значительным резервом свободных мощностей. На ОРП «Осташковская» в это время свободны до 5 постов из 7, на ОРП «Холмогорская» — до 3 постов из 4. Это технологическое окно используется для глубокой плановой зарядки электробусов в межсменный период.

С 06:00 до 10:00 наблюдается утренний час пик. Доступная пропускная способность падает до нуля на обоих ОРП и сохраняется на этом уровне в течение четырех часов. Это означает, что все зарядные посты заняты, и система работает на пределе своих возможностей.

С 11:00 до 20:30 также фиксируется полное отсутствие свободных слотов на обоих ОРП. Таким образом, на ОРП «Холмогорская» свободные слоты отсутствуют на протяжении 14 часов подряд (с 06:00 до 20:00). Это свидетельствует о критической загрузке инфраструктуры, при которой любой сбой (отключение даже одной УБЗС из четырех) неизбежно приведет к образованию очереди и нарушению графика движения на прикрепленных маршрутах.

В то же время на ОРП «Осташковская» в дневное межпиковое время (с 10:00 до 11:00) и в вечерние часы после спада пассажиропотока (с 20:30) появляются кратковременные окна доступности (1–2 свободных поста). Эти окна представляют собой ресурс, который потенциально может быть использован для повышения отказоустойчивости всего хаба.

Представленные данные наглядно демонстрируют, что среднесуточный показатель «нагрузка на 1 УБЗС» (7,86 и 7,5 электробуса на пост) не является математически выстроенным механизмом. Динамический анализ с получасовым разрешением выявляет наличие длительных периодов полной загрузки, когда резервы отсутствуют, и кратковременных окон, когда эти резервы появляются. Это создает как риски нарушения расписания, так и потенциальные возможности для оптимизации.

Сравнительный анализ экономической эффективности

Переход на электробусный транспорт требует не только решения технических и организационных задач, но и тщательного экономического обоснования. Инфраструктурная составляющая в структуре затрат на эксплуатацию электробусов является существенной и требует отдельного анализа.

В таблице 3 представлены результаты сравнительного анализа усредненных затрат на эксплуатацию дизельных автобусов и электробусов в условиях г. Москвы с учетом актуальных данных по тарифам на электроэнергию (10,59 руб./кВт·ч) и стоимости технологического присоединения УБЗС.

Таблица 2

Доступность свободных зарядных слотов на ОРП хаба «Осташковская – Холмогорская» в течение суток (будний день)

Временной интервал	ОРП «Осташковская» (N=7)	ОРП «Холмогорская» (N=4)
00:00-00:30	3	0
00:30-01:00	1	0
01:00-01:30	1	0
01:30-02:00	2	0
02:00-02:30	4	1
02:30-03:00	5	2
03:00-03:30	5	3
03:30-04:00	5	3
04:00-04:30	4	3
04:30-05:00	3	2
05:00-05:30	2	1
05:30-06:00	1	0
06:00-10:00	0	0
10:00-10:30	1	0
10:30-11:00	1	0
11:00-20:30	0	0
20:30-21:00	1	0
21:00-21:30	1	0
21:30-22:00	2	0
22:00-22:30	3	0
22:30-23:00	3	0
23:00-23:30	3	0
23:30-00:00	3	0

Таблица 3

Сравнительный анализ затрат на эксплуатацию дизельных автобусов и электробусов [10]

Статья затрат	Дизельный автобус	Электробус	Отклонение
Затраты на топливо/электроэнергию, руб./км	22,8	9,2	-59,6%
Затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб./км	28,2	23,6	-16,3%
Амортизационные отчисления (подвижной состав), руб./км	21,5	42,5	+97,7%
Инфраструктурная составляющая (АЗС/УБЗС), руб./км	0,4	3,0	+650%
ИТОГО приведенных затрат, руб./км	72,9	78,3	+7,4%

Как следует из таблицы, структура затрат для двух типов подвижного состава принципиально различается. Электробусы демонстрируют существенно более низкие эксплуатационные расходы: затраты на энергоносители ниже почти на 60%, а на техническое обслуживание и ремонт — на 16%. Это обусловлено более высоким КПД электродвигателя (до 90% против 35–40% у двигателя внутреннего сгорания) и меньшим количеством быстроизнашивающихся узлов (отсутствие коробки передач, системы выпуска отработавших газов, снижение нагрузки на тормозную систему за счет рекуперативного торможения).

Однако эти преимущества в значительной степени уравновешены более высокой стоимостью самого подвижного состава (амортизационные отчисления выше почти в 2 раза) и необходимостью создания и содержания дорогостоящей зарядной инфраструктуры. Инфраструктурная составляющая для электробусов более чем в 7 раз превышает аналогичный показатель для дизельных автобусов. При этом, как было показано выше, капитальные затраты на создание одной УБЗС составляют около 50,35 млн руб.

В результате полная стоимость владения (приведенные затраты на 1 км пробега) для электробуса в текущих условиях на 7,4% выше, чем для дизельного автобуса. Этот разрыв, однако, не является статичным и имеет тенденцию к сокращению по ряду причин.

Во-первых, прогнозируется дальнейшее снижение стоимости тяговых аккумуляторных батарей. По оценкам экспертов, к 2030 году их стоимость может снизиться на 30–40% за счет совершенствования технологий производства и эффекта масштаба. Во-вторых, цены на нефтепродукты в долгосрочной перспективе имеют тенденцию к росту. В-третьих, увеличивается ресурс батарей нового поколения (до 8–10 лет), что снижает годовую амортизационную нагрузку. В-четвертых, все большее значение приобретает экологический фактор. Введение механизмов углеродного регулирования (трансграничный углеродный налог, торговля квотами на выбросы) приведет к тому, что снижение выбросов CO_2 получит прямую денежную оценку. Предварительные расчеты показывают, что при цене углеродной единицы 30–40 евро за тонну экологическая составляющая может полностью нивелировать разницу в приведенных затратах.

Кроме того, важную роль играет модель, применяемая при закупках: в Москве значительная часть электробусов закупается в рамках контрактов жизненного цикла (КЖЦ), при которых поставщик принимает на себя обязательства по техническому обслуживанию и ремонту в течение всего срока службы. Это позволяет оптимизировать затраты на ТОиР и перенести часть инфраструктурных рисков на производителя [11].

Рекомендации по повышению эффективности использования зарядной инфраструктуры

Проведенный анализ позволяет сформулировать ряд рекомендаций, направленных на повышение эффективности работы системы НГПТОП г. Москвы за счет оптимизации использования зарядной инфраструктуры.

Разработка методики расчета потребного количества УБЗС на ОРП. Существующий подход к определению количества зарядных станций на ОРП, основанный на анализе длины оборотного рейса и выпуска подвижного состава, не в полной мере учитывает пиковые нагрузки и необходимость создания резерва пропускной способности. Разработка формализованной методики позволит с более высокой точностью определить потребное количество УБЗС исходя из детализированных графиков движения и зарядных сессий, а также прогнозируемых пассажиропотоков. Особое внимание должно уделяться созданию резерва мощностей на наиболее загруженных ОРП для обеспечения отказоустойчивости системы.

Внедрение системы приоритезации зарядки. Принцип «первым прибыл — первым обслужен» должен быть заменен на более интеллектуальный механизм, учитывающий:

— текущий уровень заряда (электробусы с критически низким зарядом, особенно модели ЛиАЗ с порогом блокировки 25%, должны получать приоритет);

— время до следующего отправления по расписанию;

— тип маршрута (социально значимые маршруты с минимальными интервалами движения могут иметь более высокий приоритет в часы пик);

— тип аккумуляторной батареи (для машин ОЗХ, требующих более частой зарядки, могут быть зарезервированы отдельные посты).

Формализация алгоритмов перераспределения подвижного состава при сбоях зарядной инфраструктуры. Анализ загрузки хаба «Осташковская — Холмогорская» показывает, что в периоды пиковых нагрузок (с 06:00 до 10:00 и с 11:00 до 20:30) резервы пропускной способности на обоих ОРП отсутствуют. В таких условиях выход из строя даже одной УБЗС неизбежно приводит к образованию очереди и нарушению графика движения. В то же время в межпиковые периоды на ОРП «Осташковская» имеются свободные слоты (1–2 поста), которые могут быть использованы для приема электробусов с перегруженного ОРП «Холмогорская». Однако в настоящее время отсутствуют формализованные алгоритмы, позволяющие диспетчерским службам оперативно принимать решения о перераспределении

потоков с учетом актуальной загрузки соседних ОРП. Разработка таких алгоритмов, учитывающих расстояние между ОРП (менее 5 км в рассматриваемом хабе) и время, необходимое для перегона, позволит повысить отказоустойчивость системы без дополнительных капитальных затрат.

Пересмотр расписания и оптимизация структуры парка для наиболее загруженных ОРП. В случаях, когда ОРП характеризуется круглосуточной предельной загрузкой (как ОРП «Холмогорская»), необходимы структурные изменения. Возможными направлениями являются:

— пересмотр расписания движения с целью разнесения времени прибытия электробусов на конечную станцию, что позволит сгладить пиковые нагрузки на зарядную инфраструктуру;

— использование на таких маршрутах преимущественно электробусов с увеличенным запасом хода (УЗХ), которые могут выполнять большее количество рейсов между зарядными сессиями, снижая потребность в частых подзарядках и, как следствие, нагрузку на УБЗС.

Развитие системы мониторинга и прогнозирования загрузки УБЗС. Для оперативного управления зарядными ресурсами необходима информационная система, аккумулирующая данные о фактической и плановой загрузке каждой УБЗС. На основе этих данных может осуществляться прогнозирование периодов пиковой нагрузки и заблаговременное информирование диспетчерских служб о необходимости принятия корректирующих мер. Это позволит перейти от реактивного управления к проактивному, предотвращая возникновение критических ситуаций.

Заключение

В результате проведенного исследования были решены поставленные задачи и получены следующие основные выводы.

Выявлены и систематизированы условия и факторы, определяющие формирование инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения НГПТОП в условиях крупного мегаполиса: экологические, градостроительные, технические, организационно-институциональные, экономические и эксплуатационные. Показана ключевая роль многоступенчатого механизма транспортно-логистической экспертизы при размещении новых УБЗС, обеспечивающего их интеграцию в единую транспортную систему города. Определены стоимостные параметры создания зарядной инфраструктуры: средняя себестоимость одного поста УБЗС составляет 15,2 млн руб, с учетом технологического присоединения и монтажных работ — 50,35 млн руб.

На примере характерного зарядного хаба «Осташковская – Холмогорская» в СВАО г. Москвы выполнен анализ плановых расписаний, позволивший построить матрицу доступности зарядных ресурсов с получасовым шагом дискретизации. Выявлено наличие длительных периодов полной загрузки инфраструктуры (до 14 часов на ОРП «Холмогорская»), когда резервы пропускной способности отсутствуют и любой сбой ведет к нарушению графика. В то же время установлено существование кратковременных окон доступности на ОРП «Осташковская» в межпиковые периоды.

Сравнительный анализ экономической эффективности показал, что приведенные затраты на 1 км пробега для электробуса в настоящее время на 7,4% выше, чем для дизельного автобуса. При этом электробусы имеют существенно более низкие затраты на энергоносители (экономия 60%) и техническое обслуживание (экономия 16%), однако эти преимущества нивелируются высокой стоимостью подвижного состава и зарядной инфраструктуры. Выявлена тенденция к сокращению этого разрыва по мере снижения стоимости батарей, роста цен на нефтепродукты и учета экологического фактора.

Повышение эффективности системы НГПТОП г. Москвы может быть достигнуто за счет комплекса организационных и технических мероприятий:

— разработки методики расчета потребного количества УБЗС на ОРП с учетом пиковых нагрузок и необходимости создания резерва;

— внедрения системы приоритезации зарядки на основе комплексного индекса срочности;

— создания динамической модели распределения электробусов по УБЗС в случае сбоя;

— пересмотра расписания и оптимизации структуры парка (использование электробусов с УЗХ) для наиболее загруженных ОРП;

— развития системы мониторинга и прогнозирования загрузки УБЗС.

Реализация указанных рекомендаций позволит без дополнительных капитальных затрат на строительство новых УБЗС повысить регулярность движения на маршрутах, снизить риски нарушения графика при возникновении нештатных ситуаций и оптимизировать эксплуатационные расходы за счет более равномерного использования инфраструктуры.

Список использованных источников

1. Гущин А.А., Гавриляк Я.В., Богданов З.Н. Экономическая эффективность внедрения электробусов в общественный транспорт. В: Научное сообщество студентов. Междисциплинарные

исследования: сборник статей по материалам CCXI студенческой международной научно-практической конференции. Новосибирск: Сибирская академическая книга, 2025. С. 129–132.

2. Гольская Ю.Н. Функционирование транспортной инфраструктуры и ее влияние на региональное развитие. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2018. Т. 2. С. 36–40.

3. Кудрявцев А.М., Руднева Л.Н. Методика комплексной оценки эффективности функционирования транспортной инфраструктуры региона. Российское предпринимательство. 2014. № 8 (254). С. 109–121.

4. Гольская Ю.Н. Оценка влияния транспортной инфраструктуры на социально-экономическое развитие региона: дис. … канд. экон. наук: 08.00.05. Екатеринбург, 2013. 198 с.

5. Ларин О.Н. Транспортные системы крупных городов: вопросы эффективности. Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 2 (105). С. 138–142. DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-16.

6. CO2 Emissions in 2022 [Электронный ресурс] // International Energy Agency (IEA). URL: https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022 (дата обращения: 03.04.2025).

7. Индикаторы экологической результативности и безопасности эксплуатации автотранспортных средств на природном газе [Электронный ресурс] // КиберЛенинка : научная электронная библиотека. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/indikatory-ekologicheskoy-rezultativnosti-i-bezopasnosti-ekspluatatsii-avtotransportnyh-sredstv-na-prirodnom-gaze (дата обращения: 03.04.2025).

8. Рассоха В.И., Дрючин Д.А., Надирян С.Л. Оптимизация структуры парка безрельсовых транспортных средств, обслуживающих городские пассажирские маршруты, на основе результатов математического моделирования. International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 3. С. 180–202. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-3-180-202.

9. Дрючин Д.А. Оптимизация инфраструктуры топливно-энергетического обеспечения системы городского наземного пассажирского транспорта. Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20. № 6 (94). С. 718–727. DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-6-718-727.

10. Глушкова Ю.О., Пахомова А.В., Асоян А.Р. Сравнение экономической эффективности эксплуатации троллейбуса и автобуса с учетом экологического фактора. Вестник СибАДИ. 2018. Т. 15. № 3 (61). С. 372–379.

11. Яновский В.В., Серебряков Л.Г. Методический подход к оценке эффективности автотранспортной инфраструктуры региона. Экономика и управление. 2012. № 10 (84). С. 33–41.

12. Анализ теоретических подходов к оценке издержек, связанных с ненадежностью транспортных корреспонденций городского пассажирского транспорта и временем транспортных передвижений городского населения / Донченко В.В., Филиппова Р.В. // ГУУ, Вестник университета. – М: 2018. №5/2018. С. 95-103.

13. Вклад Российской Федерации в сокращение выбросов парниковых газов: механизмы регулирования и современное технологическое решение их реализации / Брижанин В.В., Филиппова Р.В., Сударикова Е.В., Судариков М.Д. / Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. – М: Том 19, № 5 (125) 2022.

УДК 711.7
67.25: Районная планировка. Градостроительство

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРАНИЦ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗРАСТАНИЯ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Финадеева Елена Анатольевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», кандидат технических наук, доцент, директор Архитектурно-строительного института

e-mail: asi@oreluniver.ru

Наблюдаемый в настоящее время процесс глубокой пространственной трансформации городов мира преимущественно связывают с разрастанием (urban sprawl), под которым понимается неконтролируемое расширение города за свои пределы, сопровождающееся снижением средней плотности населения. Во многих странах поддержкой территориального развития агломераций послужили внедренные меры государственной поддержки застройки периферии и обеспеченная возможность перевода земель сельскохозяйственных угодий в другую категорию без достаточного

регулирования этого процесса. Начало этого явления связывают с начавшейся с середины XX века эпохой массовой автомобилизации, которая при росте доходов населения привела к развитию индивидуального жилищного строительства за пределами города.

Интенсификации процесса городской экспансии способствует также спрос на более доступное жилье, расположенное на значительном расстоянии от центра. В этой связи в последние десятилетия естественное стремление городов к увеличению площади стало нередко реализовываться в возникновении густонаселенных жилых микрорайонов на значительном отдалении от деловых центров и в пригородах, что приводит к увеличению дисперсности и фрагментации застройки. В работе [8] эти процессы субурбанизации сравнивают с «растворением городов», превращением их в децентрализованные города нового типа. По оценке [2] от 60 до 90% нового жилищного строительства в России ведется за пределами территории сложившеся застройки на участках площадью от 30 до 130 га. Примерами здесь могут выступить не только мегаполисы, но и крупные города. Так, на западной окраине г. Орла ведется активная застройка многоквартирными домами повышенной этажности участка площадью более 123 га, за пределами северной границы города – участка площадью 43,5 га, в которых суммарно будет проживать около 30 тысяч человек.

Повсеместное разрастание городской застройки, в том числе за пределами городов, способствующее ежедневным маятниковым миграциям, как правило, приводит к укреплению зависимости от личного автотранспорта, увеличению количества поездок на автомобиле и протяженности маршрутов. Это не только повышает длительность времени в пути, но и вызывает «транспортную усталость» водителей, являющейся причиной роста числа ДТП, снижения работоспособности и производительности труда [1]. Наряду с этим нарушение территориальной непрерывности города и появление «перфорации» застройки способствует снижению плотности услуг в пределах пешеходной доступности, что может сопровождаться несправедливым распределением видов общественных услуг и снижением качества жизни, а также привести к необходимости использования транспорта для повседневных посещений социально-значимых объектов даже в черте города.

Одним из основных показателей, отражающих последствия изменения пространственной городской структуры, является доступность, под которой будем понимать способность жителя за приемлемое для него время достичь мест приложения труда, социально-значимых объектов и рекреационных зон. Измерение доступности во времени позволяет выполнить более показательную оценку и уточнить значения комфортных расстояний от мест проживания до указанных объектов. Время, затрачиваемое на повседневные перемещения, напрямую влияет на качество жизни, что является одной из ключевых идей концепции Х-минутного города [9].

Для оценки компактности городов в работе [4] предложено ввести индекс дисперсности, представляющий собой сравнение средневзвешенного расстояния от местонахождения жителей до центра реального города со средневзвешенным расстоянием в городе, приведенном к цилиндру правильной формы. Мерой дисперсности в этом случае выступает средневзвешенное расстояние до центра города в пересчете на одного жителя. В рамках этого исследования на основании сведений о демографии, структуре землепользования, жилищном фонде и положений документов территориального планирования (генеральных планов) для городов, попавших в выборку, определен показатель доли застроенных территорий, доступных за 15 минут на автомобиле для 60-100% населения. Предложена следующая классификация наблюдаемых моделей планируемого роста городов (рисунок 1):

- обычное разрастание (снижение плотности населения в центре города и интенсивное снижение по мере отдаления от центра, линия 1 на рисунке 1);
- экстремальное разрастание (стремление тренда распределения перспективной плотности населения к горизонтали, линия 2 на рисунке 1);
- химерическое разрастание (перемещение города на новое место, линия 3 на рисунке 1);
- рост (застройка новых территорий сбалансирована с прогнозным увеличением численности населения, при этом средняя плотность увеличивается, линия 4 на рисунке 1);

- адаптация (будущее увеличение численности населения в генеральные планы не закладывается, планируемое приращение новых территорий отсутствует или незначительно, линия 5 на рисунке 1).

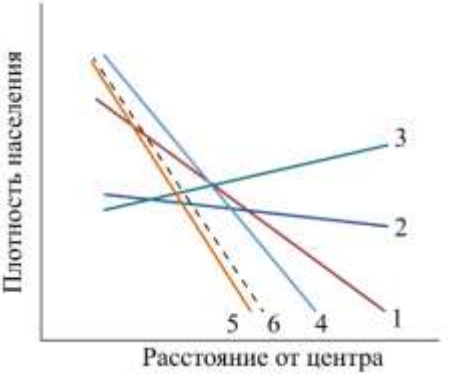


Рисунок 1 – Модели изменения планировочной структуры городов: обычное (1), экстремальное (2), химерическое (3) разрастание, рост (4), адаптация (5), базовый сценарий (6) [4]

Решениями, заложенными в документы территориального планирования, подтверждается, что практически все города России, попавшие в выборку, предполагают рост застраиваемых территорий при вызывающих сомнения демографических прогнозах.

Рассмотрим значения средневзвешенного расстояния до центра города в пересчете на одного жителя (обозначим *D*) и показателя доли застроенных территорий, доступных за 15 минут на автомобиле для 60-100% населения (обозначим *P*) для некоторых региональных центров Центрального федерального округа с различными моделями планируемого роста (таблица 1), а также выполним анализ динамики изменения численности населения за последние 5 лет в выбранных городах и на расположенных с ними в непосредственной близости территориях городских округов и муниципальных районов [6, 7] (рисунки 2-4).

Таблица 1

Некоторые показатели, отражающие компактность застройки городских округов

Модель разрастания	**Городской округ**	***D*, км** [4]	***P*, %** [4]
Обычное разрастание	Смоленск	3,8	71
	Рязань	5,1	64
Экстремальное разрастание	Брянск	6,6	43
	Тула	4,0	47
Химерическое разрастание	Липецк	5,1	36
	Кострома	4,0	87
Рост	Тверь	4,1	84
	Калуга	5,4	49
Адаптация	Орел	4,0	96
	Иваново	3,5	91

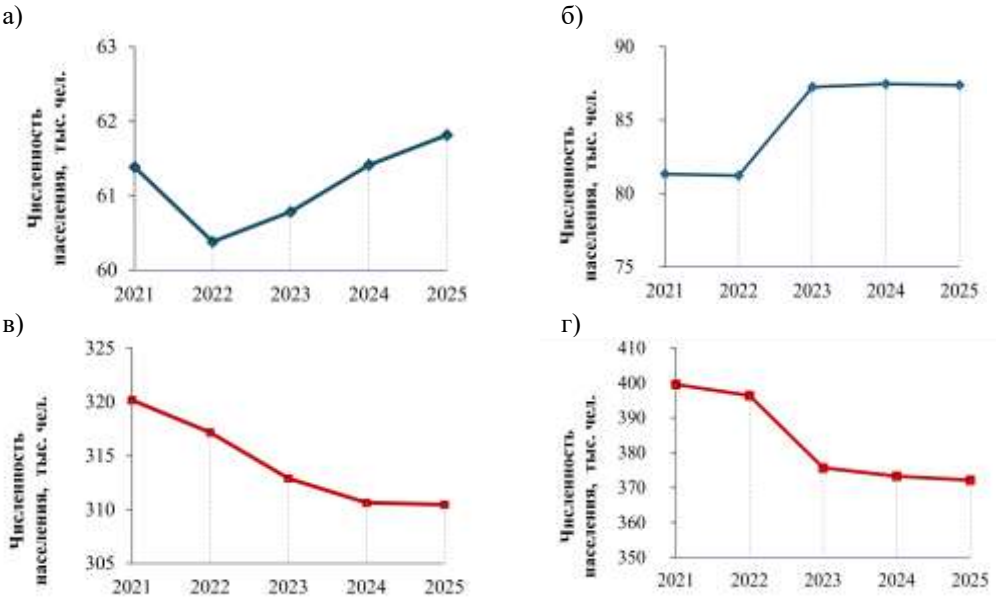


Рисунок 2 – Динамика изменения численности населения в муниципальных районах и городах - региональных центрах, для которых характерны обычное и экстремальное разрастание: Смоленском муниципальном районе *(а)* и г. Смоленск *(в)*; Брянском муниципальном районе и городском округе г. Брянск (сельское население) *(б)* и г. Брянск *(г)* [6, 7]

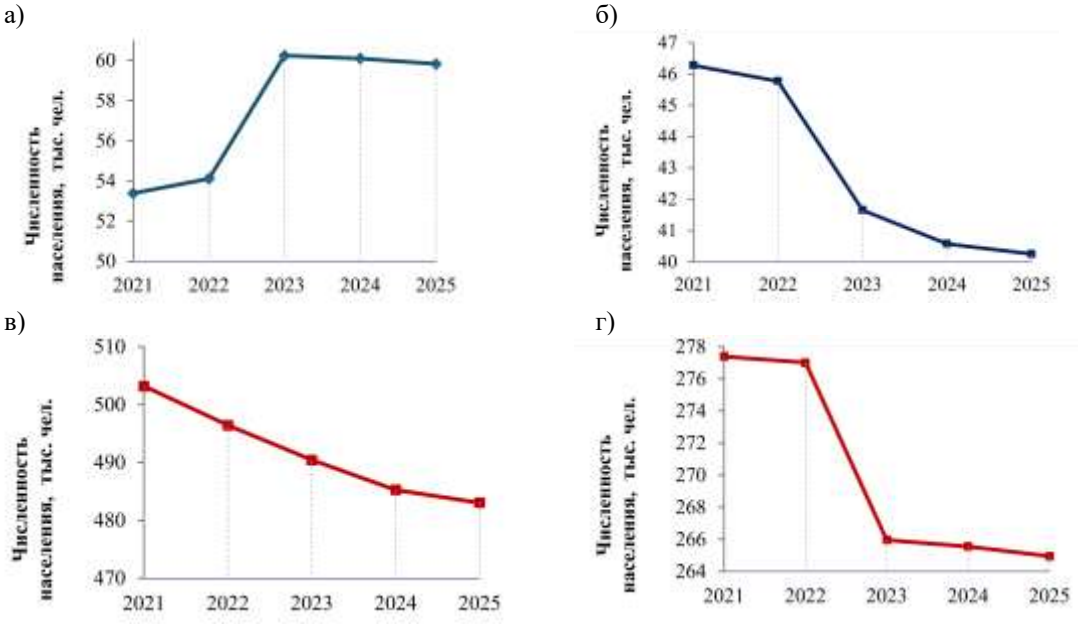


Рисунок 3 - Динамика изменения численности населения в муниципальных районах и городах - региональных центрах, для которых характерно химерическое разрастание: Липецком муниципальном районе *(а)* и г. Липецк *(в)*; Костромском муниципальном районе *(б)* и г. Кострома *(г)* [6, 7]

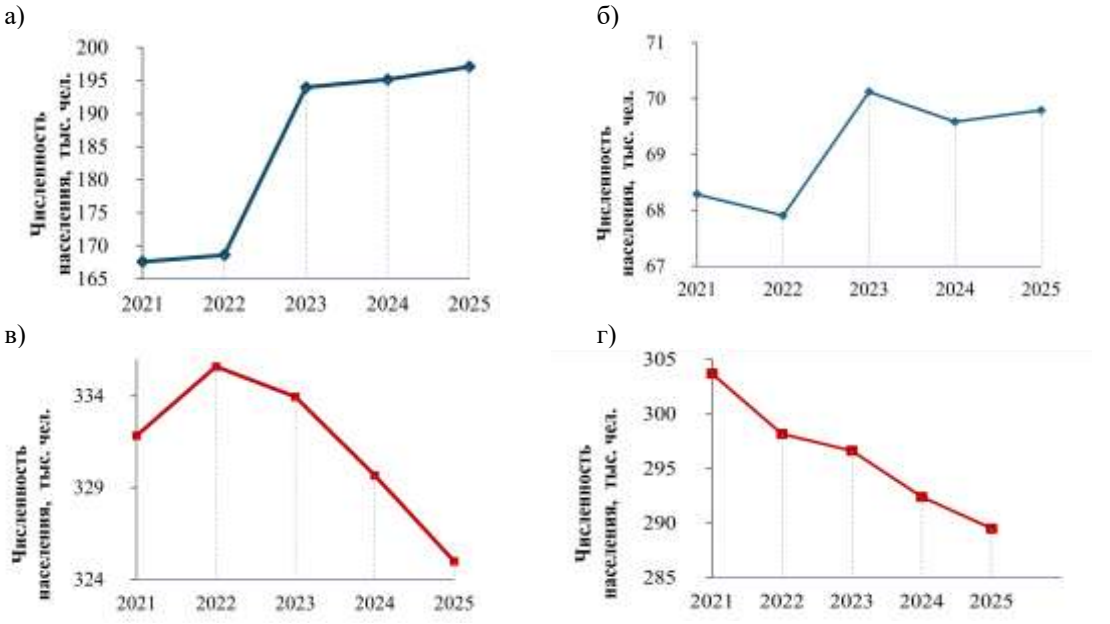


Рисунок 4 - Динамика изменения численности населения в муниципальных районах и городах - региональных центрах, для которых характерны рост и адаптация: г. Калуга *(в)*, городского округа г. Калуга (сельское население) и смежных с ним муниципальных районов *(а)*; Орловском муниципальном районе *(б) и* г. Орел *(г)* [6, 7]

Для указанных городских округов и смежных с ними муниципальных районов определены абсолютные значения прироста (убыли) населения за период 2021-2025 г., показанные на рисунке 5.

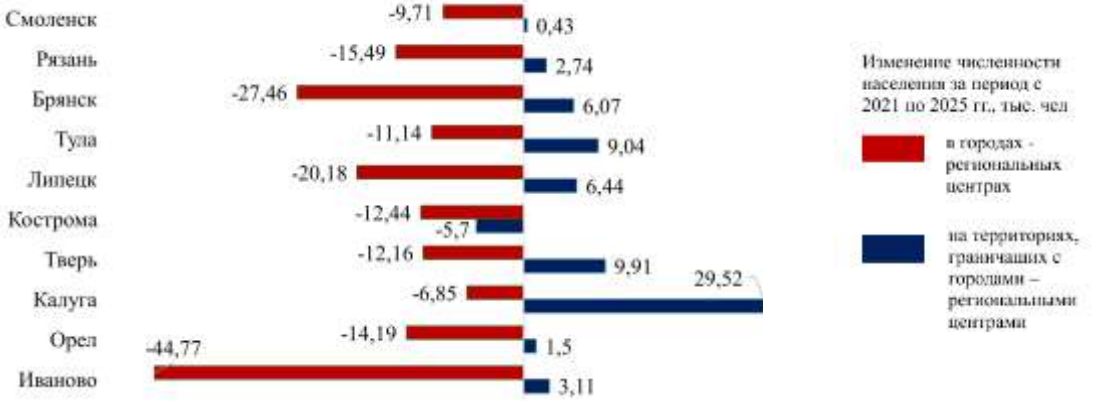


Рисунок 5 – Значения прироста (убыли) населения в рассматриваемых региональных центрах и на территориях, граничащих с ними [6, 7]

Как следует из таблицы 1, для городов со схожими моделями пространственного развития в ряде случаев наблюдается значительная разница в значениях показателей, отражающих компактность застройки, например, по показателю *P* - для Липецка и Костромы, Твери и Калуги; по показателю *D* – для Смоленска и Рязани, Брянска и Тулы. В то же время, даже в рассматриваемых административных границах некоторых региональных центров доля застроенных территорий, доступных за 15 минут на автомобиле для 60-100% населения, не превышает 50%. Очевидно, что в связи с развитием многоэтажной застройки в пригородах и наблюдаемым частичным переселением жителей за пределы городов с сохранением трудовых и социальных связей с их ядрами (см. рисунки 2-5), фактическое значение этого показателя окажется еще более низким, а средневзвешенное расстояние до центра города в пересчете на одного жителя, соответственно, увеличится. Таким образом, для полноценного анализа транспортной доступности целесообразно расширить исследовательскую территорию с учетом, в первую очередь, возникающих ежедневных маятниковых миграций.

Тенденция повышения нетто-прироста численности населения в муниципальных районах была также выявлена и показана в работе [3], в которой на примере 63 городских округов и их внешних зон была выполнена проверка гипотезы об увеличении протяженности зоны возможного нетто-прироста в зависимости от крупности и миграционной привлекательности региональных столиц. В результате был сделан вывод о повышении нетто-прироста численности населения на расстоянии до 40 км от центров ядер и о начале устойчивого нетто-оттока на расстоянии свыше 65 км. При этом чем крупнее ядра агломераций, тем дальше от их центров отодвигаются эти границы.

Следующей проблемой, влияющей на время, затрачиваемое жителями на перемещения в условиях разрастания городов, является отставание строительства объектов социальной инфраструктуры относительно сроков заселения жилья. В ходе исследования, выполненного на примере 12 агломераций, определено, что запаздывание строительства школ на их периферии увеличивает долю поездок до объектов образования на личном автомобильном транспорте с 15% до 52%, а время в пути – в 2-2,5 раза по сравнению с нормативной пешеходной доступностью [5], это также является дополнительной причиной заторов на дорогах в утренние часы. Дефицит социальной инфраструктуры приводит проблему пешеходной доступности в категорию транспортной доступности, что особенно значимо для проживающих за пределами городских округов. Одним из действенных путей сокращения времени в пути для пользования городскими услугами, а также снижения нагрузки на улично-дорожную сеть является следование принципам полицентрической модели пространственного развития, во многом исключающей недостатки моделей разрастающихся и компактных городов. В этом случае комфортные расстояния обеспечиваются, в первую очередь, за счет расположения в пределах пешеходной доступности объектов повседневного спроса и рекреационных зон.

Выводы. Выполненное исследование позволяет утверждать, что традиционные подходы к анализу транспортной доступности и компактности застройки в границах городских округов перестают быть значимыми при переселении части жителей на территории смежных муниципальных районов. Формирование обширных агломераций приводит к выходу за пределы локальных административных единиц повседневных маршрутов многочисленных жителей пригорода, вызванному сохранением трудовых и социальных связей с ядрами. Не следует упускать из внимания проблемы «перфорации» застройки и запаздывания строительства социальной инфраструктуры расположенных на периферии густонаселенных жилых мирокрайонов, дополнительно влияющих на увеличение времени в пути и перегрузку улично-дорожной сети в часы пик.

В этой связи целесообразно выполнять анализ транспортной доступности в указанной постановке вопроса на основании не муниципальных, а функциональных границ, определяемыми маятниковой миграцией и перемещениями населения к социально значимым объектам, расположенными вне зоны пешеходной доступности. Для большинства крупных городов актуально расширение границ территории исследования на расстояние до 40 км от ядер. Игнорирование фактической пространственной логики жизни населения при проведении исследования транспортной доступности приведет к искажению результатов, что в конечном итоге не позволит разработать эффективную систему мероприятий по улучшению доступности и повышению социальной справедливости для проживающих в городских округах и за их границами.

Список использованных источников

1. Васильева А. Что такое 15-минутный город и как он поможет снять транспортную усталость [Электронный ресурс] / А. Васильева // Сириус (Журнал). – 2026. – 7 января. – Режим доступа: https://siriusmag.ru/articles/3060-ot-megapolisa-do-15-minutnogo-goroda-kak-vystraivaut-transportnuu-logi/ (дата обращения: 10.04.2026).

2. Городское планирование и транспортное поведение в Российской Федерации / Под общ. ред. В.В. Донченко. - М.: КнигИздат, 2022. -240 с.

3. Карачурина Л.Б. Пространственные особенности миграционного прироста пригородов региональных столиц России / Л. Б. Карачурина, Н. В. Мкртчян, А. Н. Петросян // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2021. – Т. 85, № 5. – С. 125–137.

4. Пространственная политика городов России [Текст]: аналит. докл. / А.В. Головин, Т.В. Гудзь, Г.В. Витков [и др.]; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М.: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2021. — 248 с.

5. Пузанов А.С. Доступность школьного образования в новых районах массовой жилой застройки / А. С. Пузанов, А. Р. Михеева // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2023. – № 4. – С. 7–30.

6. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям: информационно-аналитические материалы [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282 (дата обращения: 20.03.2026).

7. Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2025 года [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). – 25 апреля 2025. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/%D0%A1hisl_MO_01-01-2025.xls (дата обращения: 20.03.2026).

8. Monclús F.J. Suburbanización y nuevas periferias. Perspectivas geográfi courbanísticas / F.J. Monclús // La ciudad dispersa. Suburbanización y nuevas periferias / ed. by F. J. Monclús. – Barcelona: Centre de Cultura Contemporània de Barcelona, 1996.

9. Moreno C. Introducing the "15-Minute City": Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities / C. Moreno, Z. Allam, D. Chabaud, C. Gall, F. Pratlong // Smart Cities. – 2021. – Vol. 4, № 1. – P. 93–111.

УДК 621.436:629.3.064.5
73.31.17 | 55.42.31 | 73.39.81

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ САМОСВАЛОВ ПРИ РАБОТЕ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТОПЛИВАХ

Хамченков Матвей Дмитриевич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), г. Санкт-Петербург, Россия; аспирант
E-mail: Khamchenkov@vk.com

Воронцов Иван Иванович
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), г. Санкт-Петербург, Россия; д.т.н., профессор
E-mail: vorontsov.52@mail.ru

Аннотация. Статья носит теоретико-методологический характер и направлена на совершенствование методов оценки эксплуатационных показателей и ресурса энергетических установок наземных транспортно-технологических средств (НТТК) при адаптации к альтернативным топливам. Карьерный самосвал рассматривается как ключевой элемент транспортно-технологического комплекса, функционирующий в специфических условиях технологического цикла выемки и транспортирования горной массы. Выполнен критический анализ существующих подходов к оценке мощностных, экономических и ресурсных показателей двигателей самосвалов при использовании альтернативных топлив. Показано, что отсутствие единой методологии, увязывающей физико-химические свойства многокомпонентных топливных композиций с параметрами рабочего цикла, данными бортовой телеметрии и прогнозом остаточного ресурса, ограничивает полноту и достоверность оценок. Основной вклад работы заключается в разработке архитектуры комплексной методологии, интегрирующей термодинамический расчёт, CFD-моделирование, безмоторные экспресс-методы, бортовой мониторинг и диагностику моторного масла в единый контур цифрового двойника. Предложенная структура ориентирована на прогнозирование эксплуатационных показателей энергетических установок НТТК для трёх классов топлив: сжиженный природный газ, гидроочищенное растительное масло и водородосодержащие смеси. Сформулированы нерешённые научные задачи, определяющие направления дальнейших диссертационных исследований в области совершенствования

рабочих характеристик наземных транспортно-технологических средств при внедрении инновационных видов моторного топлива.

Ключевые слова: наземные транспортно-технологические средства, карьерный самосвал, транспортно-технологический комплекс, альтернативное топливо, сжиженный природный газ, гидроочищенное растительное масло, водород, эксплуатационные показатели, методология оценки, цифровой двойник, рабочие характеристики.

Введение

Ужесточение международных норм по выбросам (Stage V, Tier 5) и увеличение доли топливной составляющей в себестоимости транспортировки горной массы определяют актуальность адаптации энергетических установок наземных транспортно-технологических средств (карьерных самосвалов) к альтернативным моторным топливам [1–3]. Карьерный самосвал рассматривается не как изолированная машина, а как ключевой элемент транспортно-технологического комплекса горнодобывающего предприятия, функционирующий в специфических условиях эксплуатации: ненормированный продольный и поперечный профиль трасс, знакопеременные нагрузки, длительная работа на максимальных режимах и жёсткие требования к надёжности. Таким образом, его эксплуатационные показатели напрямую определяют эффективность и безопасность всего технологического цикла выемки и транспортирования горной массы.

В качестве наиболее перспективных видов топлива для НТТК рассматриваются сжиженный природный газ (СПГ), гидроочищенное растительное масло (HVO) и водородосодержащие смеси (HCNG, метан-водород) [4–6]. Смена топлива изменяет характер тепловыделения, коэффициент избытка воздуха, теплонапряжённость деталей и кинетику образования вредных веществ, что в условиях реальной эксплуатации комплекса неизбежно сказывается на рабочих характеристиках двигателя и, как следствие, на производительности и ресурсе всего транспортного средства. Возникает потребность в методах оценки, одновременно учитывающих свойства многокомпонентной топливной композиции, нестационарный карьерный цикл нагружения, процессы деградации энергетической установки и специфику функционирования самосвала в составе транспортно-технологического комплекса.

Настоящая работа направлена на создание методологического инструментария совершенствования методов оценки рабочих характеристик и ресурса энергетических установок НТТК в условиях адаптации к перспективным топливам. Основной акцент делается не на получение новых экспериментальных результатов, а на системное использование уже накопленных промышленностью массивов данных и интеграцию расчётных, имитационных и диагностических подходов в единый контур, позволяющий прогнозировать эксплуатационные показатели транспортно-технологического средства без проведения полномасштабных дорогостоящих испытаний для каждой топливной рецептуры.

Объектом исследования являются энергетические установки наземных транспортно-технологических средств – карьерных самосвалов грузоподъёмностью 90–360 т, работающих на альтернативных топливах. Предмет исследования – совокупность расчётных, экспериментальных, диагностических и имитационных подходов к оценке их рабочих характеристик. Научная задача заключается в разработке универсальной методологии комплексной оценки, обеспечивающей достоверный прогноз показателей двигателя НТТК при переводе на многокомпонентные топливные композиции в условиях реальной эксплуатации. Существующее научное противоречие: традиционные методики ориентированы либо на стендовые испытания монокомпонентного топлива, либо на упрощённые термодинамические модели; они не учитывают переменность состава газа, особенности горения водорода и не интегрируют расчётные, телеметрические и диагностические данные в единый цифровой инструмент, адаптированный под специфику технологического цикла транспортирования горной массы. Цель работы – систематизировать существующие подходы и сформировать концепцию комплексной методологии, объединяющей термодинамический анализ, CFD-моделирование, безмоторную экспресс-диагностику, бортовой мониторинг и элементы цифрового двойника, адаптированной к СПГ, HVO и водородосодержащим смесям.

1. Характеристика перспективных топлив

1.1 СПГ. Криогенные бортовые системы обеспечивают работу самосвала в течение смены [7]. Газодизельный режим снижает эмиссию твёрдых частиц на 90%, оксидов азота – на 30–40%, затраты – на 35–50% [8, 9]. Предел замещения дизеля на установившихся режимах достигает 70%, но на переходных снижается до 40–50% [10].

1.2 HVO. Топливо парафинового ряда с цетановым числом >70 ед., практически без серы [4]. При 100%-м HVO без изменения угла опережения впрыска эмиссия NOx снижается на 6%, дымность – на 35% [5, 6], однако отмечена склонность к окислению при хранении.

1.3 Водородосодержащие смеси. Добавка H_2 к метану расширяет пределы воспламенения и увеличивает ламинарную скорость пламени, что даёт прирост эффективного КПД до 9% [11]. Ведутся разработки полноводородных силовых установок с топливными элементами для самосвалов особо большой грузоподъёмности [12].

2. Существующие методы оценки

2.1. Расчётные методы. Фундаментальный термодинамический метод, основанный на вычислении среднего индикаторного давления, для многокомпонентных топлив даёт погрешность до 3 % без учёта политропной составляющей [8]. Левтеровым А.М. предложена универсальная методология, позволяющая прогнозировать индикаторные и эффективные показатели для произвольного элементного состава топлива [8]. Развиваются безмоторные экспресс-методы, использующие корреляцию показателя преломления биотоплива с цетановым числом [13, 14], однако они пока не распространены на газовые смеси.

2.2. Экспериментальные методы. Стендовые испытания газопоршневого двигателя КАМАЗ 820.60-260 (191 кВт) позволили построить математическую модель, экстраполированную по адиабатическому подобию на двигатели самосвалов грузоподъёмностью 240 т [9]. Эксплуатационные испытания CAT-785B подтвердили возможность работы на смеси дизеля и природного газа [16], а бортовой комплекс БелАЗ-75131 зафиксировал распределение времени работы по пяти нагрузочным интервалам для вычисления среднего предела замещения [10]. Главный недостаток – высокая стоимость и невозможность охватить всё многообразие режимов.

2.3. Диагностические методы. Спектральный анализ проб картерного масла даёт информацию об износе пар трения и косвенно – о техническом состоянии двигателя [15, 16]. Математические модели связывают интенсивность износа с изменением физико-химических свойств масла, модифицированного присадками [17].

2.4. Имитационное моделирование. Одномерные CFD-модели, верифицированные по дизельной и метановой версиям, успешно прогнозируют показатели водородного двигателя [11]. Трёхмерное моделирование на основе осреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса позволяет детально анализировать влияние режимных параметров на рабочий процесс водородного мотора [18]. Основные ограничения – чувствительность к калибровке и выбору редуцированного кинетического механизма, особенно для водородосодержащих смесей.

3. Предлагаемая комплексная методология

Для преодоления фрагментарности существующих подходов разработана структура комплексной методологии, объединяющей несколько последовательных этапов (рис. 1).



Рисунок 1 - Структура комплексной методологии оценки рабочих характеристик двигателей самосвалов при работе на перспективных топливах.

3.1. Термодинамический расчёт. На первом шаге на основе универсальной модели [8] и безмоторного экспресс-метода [14] определяются индикаторные показатели цикла для заданного состава топлива. Это даёт первое приближение эффективной мощности и удельного расхода без

трудоёмкого эксперимента. Для газовых и водородосодержащих смесей вводятся поправки на переменный показатель адиабаты и теплоту испарения.

3.2. CFD-моделирование. Полученные данные служат начальными условиями для трёхмерного расчёта смесеобразования и сгорания в коммерческих CFD-пакетах с использованием детальных кинетических механизмов (например, основанных на AramcoMech). Типичная расчётная сетка содержит от 1 до 3 млн ячеек, шаг интегрирования по времени составляет порядка 0,1 мкс, что обеспечивает удовлетворительный баланс точности и вычислительных затрат. Для учёта реальных условий в модель может быть введён характерный карьерный нагрузочный цикл («разгон – движение в гружёном состоянии – торможение»), восстановленный по данным бортовой телеметрии.

3.3. Экспериментальная верификация. Валидация модели выполняется на одноцилиндровом отсеке или полноразмерном двигателе по переходному циклу, адаптированному для карьерной техники. Регистрация кривых давления, тепловыделения и эмиссий позволяет уточнить константы кинетического механизма и граничные условия.

3.4. Бортовая телеметрия. В эксплуатации непрерывно регистрируются через CAN-шину и GPS: частота вращения, нагрузка, температуры, давление наддува, мгновенный расход дизельного и газообразного топлива. Это даёт текущий коэффициент замещения и пополняет базу нагрузочных профилей. Предлагаемая система телеметрии ориентирована на использование существующих на горных предприятиях систем диспетчеризации (АСУ ГТО), что обеспечивает доступ к репрезентативным массивам Big Data без развёртывания дополнительной дорогостоящей инфраструктуры.

3.5. Диагностика моторного масла. Периодический (например, каждые 250 моточасов) спектральный анализ проб масла на содержание продуктов износа (Fe, Cu, Al, Pb) и щелочное число позволяет отслеживать деградацию и прогнозировать остаточный ресурс, опираясь на ранее установленные зависимости [17]. Диагностический модуль спроектирован с возможностью интеграции с действующими лабораторными базами эксплуатирующих организаций, что позволяет накапливать обезличенные данные для построения предиктивных моделей остаточного ресурса.

3.6. Концепция цифрового двойника. В рамках развиваемого подхода предлагается интеграция всех разнородных данных в платформу цифрового двойника. Редуцированная модель (ROM) или нейросетевая аппроксимация способна в реальном времени выдавать оценку текущих мощностных, экономических и ресурсных показателей в зависимости от состава топлива и накопленной наработки. На этом этапе могут формироваться рекомендации по корректировке угла опережения зажигания/впрыска и интервалов замены масла. Следует подчеркнуть, что полная реализация цифрового двойника является предметом дальнейших исследований, а в данной работе закладывается его архитектура и обосновывается взаимосвязь компонентов.

Отличительной чертой предложенной структуры является сквозная увязка этапов «состав топлива - термодинамический расчёт - CFD - эксперимент - телеметрия - диагностика - цифровой двойник», ориентированная на сокращение объёма дорогостоящих испытаний для каждой новой топливной композиции.

4. Обсуждение: сравнительный анализ и нерешённые задачи

4.1. Нерешённые задачи и ограничения. Проведённый обзор выявил ряд принципиальных недостатков:

- отсутствие универсальных моделей сгорания для смесей с высокой реакционной способностью водорода;
- недостаточная проработка CFD-методик применительно к резкопеременным карьерным циклам;
- практически полное отсутствие длительных ресурсных испытаний двигателей самосвалов на водороде и HVO, что делает рискованными прямые экстраполяции с малоразмерных двигателей;
- отсутствие общепринятого интегрального критерия, позволяющего одновременно сопоставлять топливную экономичность, экологичность и ресурс;
- неадаптированность экспресс-методов к газообразным и водородным топливам.

Для устранения последнего недостатка автором предложен возможный вид интегрального критерия эффективности:

$$K_{eff} = \alpha\eta_e + \beta\frac{1}{NO_x} + \gamma\frac{R_{\text{ост}}}{R_{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где η_e – эффективный КПД; NO_x– относительная эмиссия оксидов азота по сравнению с дизельным аналогом; $R_{\text{ост}}$ – прогнозируемый остаточный ресурс, $R_{\text{ном}}$ – номинальный ресурс; α, β, γ – весовые коэффициенты, подлежащие определению по результатам эксплуатационных данных. Данный критерий позволяет формализовать многокритериальную оптимизацию и может быть использован в цифровом двойнике.

4.2. Сравнительный анализ методов. В Таблице 1 выполнено сопоставление рассмотренных методов по показателям точности (характерная погрешность прогноза мощности/расхода), относительной стоимости, трудоёмкости, возможности online-мониторинга, применимости к трём классам топлив и пригодности для интеграции в цифровой двойник. Видно, что предложенная методология сочетает достоинства отдельных подходов при умеренной ресурсоёмкости.

4.3. Визуализация методологии. Структура предлагаемой методологии представлена на рис.1. Входной блок «Состав топлива» передаёт молярные доли, низшую теплоту сгорания и цетановое число в «Термодинамический расчёт». Его выход используется как начальное приближение в блоке «CFD-моделирование», верифицируемом по стендовым данным. Параллельно «Бортовая телеметрия» и «Спектральный анализ масла» наполняют базу данных, на основе которой редуцированная модель «Цифрового двойника» формирует выходные оценки: эффективную мощность, расход топлива, эмиссию, остаточный ресурс. Рисунок подчёркивает целостность подхода и его ориентацию на поэтапную реализацию.

4.4. Пример численной оценки эффективности. Для демонстрации работоспособности предложенного критерия (1) выполнен сравнительный расчёт для условного дизельного двигателя и газодизеля на СПГ. Приняты следующие допущения, основанные на обобщении литературных данных: эффективный КПД дизеля $\eta_e = 0{,}40$, для газодизеля $\eta_e = 0{,}42$ (прирост 5%); относительная эмиссия оксидов азота для дизеля $NO_x = 0{,}1$, для СПГ $NO_x = 0{,}65$ (снижение на 35%); остаточный ресурс в обоих случаях принят равным номинальному $\frac{R_{\text{ост}}}{R_{\text{ном}}} = 1$. Весовые коэффициенты для иллюстрации взяты равнозначными: $\alpha = \beta = \gamma = 0{,}33$.

Расчёт по формуле (1) даёт:

- для дизельного двигателя: $K_{eff} = 0{,}33 \cdot 0{,}40 + 0{,}33 \cdot \frac{1}{1} + 0{,}33 \cdot 1 = 0{,}132 + 0{,}33 + 0{,}33 = 0{,}792$;
- для газодизеля на СПГ: $K_{eff} = 0{,}33 \cdot 0{,}42 + 0{,}33 \cdot \frac{1}{0{,}65} + 0{,}33 \cdot 1 = 0{,}1386 + 0{,}5077 + 0{,}33 = 0{,}976$;

Даже при сделанных упрощениях интегральный критерий для газодизеля оказывается примерно на 23% выше, чем для чисто дизельного варианта, что отражает одновременное улучшение топливной экономичности и снижение эмиссии NOx. Принимая дизельный показатель за базовый $K_{eff} = 1$, можно получить шкалу относительной эффективности альтернативных топлив, используя лишь доступные справочные и расчётно-эксплуатационные данные, без проведения дорогостоящих моторных испытаний для каждой смеси.

Заключение

1. Анализ существующих методов выявил их фрагментарность и отсутствие единой методологии, связывающей термодинамические, имитационные и диагностические данные применительно к двигателям карьерных самосвалов на альтернативных топливах.

2. Сформирована концепция комплексной методологии, реализующей замкнутый контур «состав топлива – термодинамический расчёт – CFD-верификация – бортовая телеметрия – диагностика масла – цифровой двойник». Данная структура может служить основой для поэтапной разработки инструмента оценки без проведения полномасштабных испытаний для каждой рецептуры.

3. Предложен интегральный критерий эффективности, пригодный для формализации многокритериального сравнения вариантов топлива. Численный пример подтвердил его способность ранжировать топлива без дополнительных натурных экспериментов.

4. Сравнительный анализ показал, что предложенная интеграционная схема потенциально обеспечивает высокую точность при приемлемых затратах и масштабируемость на три класса топлив.

5. Определены приоритетные задачи дальнейших исследований: уточнение кинетических механизмов горения водородных смесей, валидация цифрового двойника на длительных испытаниях, разработка безмоторного экспресс-метода для газообразных топлив и экспериментальное определение весовых коэффициентов интегрального критерия.

6. В качестве одного из ключевых направлений дальнейшей работы автора выделяется редукция детального кинетического механизма AramcoMech для водородосодержащих смесей, чему будет посвящена отдельная публикация.

Элементы, рекомендуемые для обоснования научной новизны статьи:

- Архитектура комплексной методологии с взаимосвязанными расчётно-экспериментальными и диагностическими модулями.
- Формализованный интегральный критерий эффективности альтернативного топлива.
- Алгоритм прогнозирования остаточного ресурса по данным спектрального анализа масла в привязке к телеметрическим нагрузочным профилям.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов оценки

Метод	**Точность**	**Стоимость**	**Трудоемкость**	**Online-мониторинг**	**Применимость к СПГ**	**Применимость к HVO**	**Применимость к H_2-смесям**	**Пригодность для цифровых двойников**
Расчётный термодинамический	±5-8%	Низкая	Низкая	Нет	Да	Да	Требует адаптации	Да (как входной слой)
Экспериментальный стендовый	±2-3%	Очень высокая	Очень высокая	Нет	Да	Да	Да (единичные испытания)	Только для калибровки
Диагностический (анализ масла	±2-3%	Средняя	Средняя	Периодический	Да	Да	Предположительно да	Да (прогноз ресурса)
Имитационный CFD	±3-5%	Высокая	Высокая	Нет	Да	Да	Сложность с механизмом H_2	Да (ROM-модели)
Предлагаемая комплексная методология	Потенциально высокая (±3-5%)	Средняя	Средняя (оптимизация циклов)	Да (телеметрия + online-ROM)	Да	Да	Да	Полная концептуальная интеграция

Список использованных источников

1. Тарасов П.И., Хазин М.Л., Фурзиков В.В. Повышение ресурса карьерных самосвалов // Горная промышленность. – 2019. – № 6. – С. 118–122.

2. Трухманов Д.С., Дубов Г.М., Чегошев А.А. и др. Методология оценки технико-экономических показателей криогенных бортовых топливных систем карьерных самосвалов БелАЗ, потребляющих в качестве моторного топлива СПГ // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 4. – С. 23–31.

3. Дубов Г.М., Нохрин С.А., Ходоровский С.К. и др. Исследование предела среднеэксплуатационного замещения дизельного топлива газовым для оценки возможной перспективы использования СПГ в качестве моторного топлива для карьерных самосвалов БелАЗ // Горный журнал. – 2022. – № 5. – С. 45–52.

4. Пляго А.В., Смольников М.В., Зыков Е.Г. Перспективы применения многокомпонентных топливных композиций для работы в дизельных двигателях // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 141–144.

5. Volza A., Pisapia A., Caprioli S. et al. Sustainable Fuels for Long-Haul Truck Engines: A 1D-CFD Analysis // SAE Technical Paper 2024-01-2180. – 2024. – 12 p.

6. Alternative Powertrains and Fuels in Heavy Non-Road Mobile Machinery and Their Future Expectations – A Review // Current Sustainable/Renewable Energy Reports. – 2023. – Vol. 10. – P. 1–15.

7. Санакулов Р.Б., Аблаев И.Ш. Опытно-промышленный эксперимент по использованию газодизельной смеси на большегрузных карьерных самосвалах // Горный журнал. – 2010. – № 2. – С. 45–48.

8. Левтеров А.М. Основы методологии исследования и проектирования транспортных ДВС, работающих на альтернативных топливах // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – № 2. – С. 61–64.

9. Тарасов П.И., Хазин М.Л., Фурзиков В.В. Методика и математическая модель оптимизации газопоршневого двигателя для карьерного самосвала // Горная промышленность. – 2019. – № 6. – С. 118–122.

10. Дубов Г.М., Черниченко А.В., Нохрин С.А. и др. Сжиженный природный газ как перспективный вид моторного топлива для карьерных самосвалов // Технологии горной промышленности и строительства. – 2021. – № 3. – С. 23–26.

11. Novella R., Bracho G., Garcia A. et al. Hydrogen-fueled heavy-duty engines: A CFD assessment of performance and emissions // Energy Conversion and Management. – 2025. – Vol. 300. – Art. 118900.

12. Васильев Ю.В., Карасевич В.А. Проект водородного карьерного самосвала БелАЗ // Топливные элементы и энергоустановки на их основе: сб. тр. 12-й Всерос. конф. – М.: МФТИ, 2025. – С. 45–50.

13. Совершенствование экспресс-методов определения показателей работы ДВС // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2024. – № 1(88). – С. 56–62.

14. Speight J.G. Synthetic Fuels Handbook: Properties, Process, and Performance. – 2nd ed. – New York: McGraw-Hill, 2023. – 450 p.

15. Анализ факторов деградации моторного масла карьерных самосвалов / А.А. Иванов, С.В. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5. – С. 34–42.

16. Математическая модель износа двигателей карьерных самосвалов при модифицировании моторного масла / В.Н. Кузнецов, Д.А. Семенов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2020. – № 2. – С. 78–85.

17. Эффективная мощность и скорость движения карьерных автосамосвалов в режиме топливной экономичности / А.С. Медведев, И.В. Лебедев // Записки Горного института. – 2022. – Т. 254. – С. 151–160.

18. 3D-математическая модель водородного двигателя на основе уравнений Навье-Стокса / М.М. Алексеев // Вестник машиностроения. – 2025. – № 3. – С. 28–34.

19. Liu Z., Karim G.A. Simulation of Hydrogen-Enriched Natural Gas Engines Using a Two-Zone Combustion Model // International Journal of Hydrogen Energy. – 2023. – Vol. 48, Issue 15. – P. 6005–6019.

20. Mariani A., Unich A., Montanari F. et al. Assessment of HVO and biodiesel blends in a heavy-duty engine: performance and emissions // Fuel. – 2022. – Vol. 310. – Art. 122258.

21. Chen H., He J., Zhong X. et al. Review of LNG as a fuel for heavy-duty mining vehicles // Applied Energy. – 2022. – Vol. 307. – Art. 118123.

22. Wang Y., Li G., Zhu L. et al. Digital twin-driven prognostics and health management for large-bore gas engines // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2024. – Vol. 189. – Art. 113992.

23. DieselNet. Emission Standards: Nonroad Engines. – URL: https://dieselnet.com/standards (дата обращения: 08.05.2026).

24. ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. – М.: Стандартинформ, 2008. – 19 с.

УДК 656.07, 656.1
73.31.61: Автомобильные перевозки

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ГОРОДА МУРМАНСКА

Челтыбашев Александр Анатольевич,
ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительства, энергетики и транспорта»
e-mail: cheltybashevaa@mauniver.ru

Баринов Александр Сергеевич,
ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет», старший преподаватель кафедры «Строительства, энергетики и транспорта»
e-mail: barinovas@mauniver.ru

На сегодняшний день существуют благоприятные условия для увеличения объемов перевозок грузов через Северный морской путь [1]. Порты города Мурманск в связи с этим, должны быть обеспечены удобными и надежными логистическими маршрутами. Дополнительно увеличение перевозок может быть связано с разработкой крупных месторождений нефти и природного газа и транспортировкой другого минерального сырья. Эти факторы подчеркивают возрастающее значение транспортной сети города Мурманска для его устойчивого развития.

Автомобильная транспортная сеть города Мурманска построена в виде линейно-узловой структуры. Это обусловлено географическими особенностями города, который более чем на 20 километров вытянут вдоль южного берега Кольского залива Баренцева моря и построен на четырех террасах. Этим обусловлены основные проблемы существующей транспортной сети, а именно низкая пропускная способность в часы пик, высокая зависимость от погодных условий (полярная ночь, снежные заносы, гололед) и наличие лишь двух ключевых магистралей, проходящих через весь город.

Таким образом транспортную сеть Мурманска можно представить в виде нескольких ключевых осей, характеристики, которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики транспортной сети города Мурманска

Условное название	Улицы, входящие в ось	Характеристика
Главная ось	пр-т Кольский, пр-т Ленина, ул. К. Либкнехта, ул. Челюскинцев, пр-т Героев-Североморцев.	Связывает все районы между собой (Первомайский, Ленинский, Октябрьский). Самая загруженная ось города.
Южная хорда	Ул. Щербакова, ул. Капитана Копытова, пр-т Кольский, ул. Зои Космодемьянской, ул. Ломоносова, ул. Пархоменко, ул. Павлова, ул. Радищева, ул. Карла Маркса, ул. Старостина, ул. Свердлова, ул. Ивченко, пр-т Героев-Североморцев.	Связывает все районы города между собой (Первомайский, Ленинский, Октябрьский). Является дублером главной оси. Имеет низкую пропускную способность.
Прибрежная хорда	Прибрежная дорога, ул. Подгорная, ул. Траловая, ул. Шмидта, ул. Челюскинцев, ул. Карла Либкнехта, Нижне-Ростинское шоссе, ул. Нахимова, ул. Лобова, пр-т Героев-Североморцев.	Связывает между собой Октябрьский и Ленинский районы города, Октябрьский и Первомайский районы по отдельности. Вторая по загруженности ось города. Основной маршрут большегрузного транспорта.
Объездная дорога	----------	Проходит вдоль всего города. Выходит, в промышленную зону. Предназначена для разгрузки главной оси.

Наиболее рациональным подходом при оценке устойчивости транспортной сети города Мурманска является определение наиболее «слабых» точек в системе. На сегодняшний день можно выделить

несколько узлов в сети города, которые особенно загружены в «час-пик».

Ключевые узкие места транспортной сети города, это несколько перекрестков. Рассмотрим особенности каждого из них. На главной оси это в первую очередь пересечение проспектов Кольского, Кирова и Ленина (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пересечение проспектов Кольского, Кирова и Ленина

Причина больших задержек в этом месте, заключается в недостаточном количестве полос, сужении полос зимой в следствии заносов и большом транспортном потоке. В этом месте традиционно возникает одна из самых больших пробок в городе. Особенностью движения транспортного потока на данном пересечении является существование конфликтной точки при разделении потока, двигающегося по проспекту Кольский в сторону севера на две одинаково крупные части. В этом потоке большое количество общественного транспорта, в том числе троллейбусы. В этой точке города происходит разветвление движения транспортных потоков со стороны юга на север в разные точки тяготения населения.

При этом движение в обратном направлении представляет из себя соединение двух потоков с проспектов Кирова и Ленина. В результате на данном пересечении требуется выполнять две продолжительные фазы при разработке режимов работы светофорных объектов. Кроме того, на этом участке значительный поток транспорта двигается с проспекта Кирова в западном направлении, а также на сегодняшний день нет возможности разделить транспортный и пешеходные потоки. Ввиду этого, требуется отдельной фазой обеспечивать безопасную возможность пересечения пешеходами данного участка.

Кроме применения автоматизированных систем управления дорожным движением для изменения параметров регулирования светофорных объектов в зависимости от возникающих заторов на данном участке можно предложить разработку альтернативных маршрутов к местам тяготения населения.

Второй по значимости, это пересечение улицы Челюскинцев, улицы Карла Либкнехта, улицы Папанина (рисунок 2), пробка в этом месте возникает из-за сложного рельефа с длинным подъёмом и высокой загруженности из-за слияния всех ключевых транспортных потоков в один.

Данный участок состоит из двух пересечений. На первом в один поток соединяются потоки с проспекта Ленина и улицы Челюскинцев для дальнейшего движения в Ленинский район города. При этом со стороны улицы Карла Либкнехта значительный поток транспорта двигается с Нижне-Ростинского шоссе. На сегодняшний день благодаря использованию дополнительной секции при организации работы светофорного объекта для поворота налево транспорта в сторону Нижне-Ростинского шоссе при движении в сторону севера по улице Челюскинцев и применения адаптивной системы изменения длительности светофорных фаз на данном пересечении обеспечивается хороший уровень безопасности дорожного движения. Однако, объемы трафика велики и регулярно, особенно в периоды снегопадов, возникает затрудненное движение потока. Далее при движении в сторону севера транспортный поток соединяется с третьим ответвлением Октябрьского района, потоком с улицы Папанина. Главной трудностью здесь является сложный рельеф, из-за которого дополнительно возникают проблемы с началом движения с места и торможением, особенно в зимний период.



Рисунок 2 – Участок с пересечениями улиц Челюскинцев, Карла Либкнехта, Папанина

Из-за сложного профиля на данном участке решением негативных ситуаций возможно только при помощи автоматизированных систем управления дорожным движением.

Кроме этого, еще одной проблемой главной оси является сужение дороги из-за припаркованных автомобилей, что вызвано малым количеством парковок в центре города.

Самым сложным перекрестком на прибрежной хорде является перекресток улицы Траловой и улицы Шмидта (рисунок 3), где из-за большого транспортного потока и малой пропускной способности возникают также большие пробки.

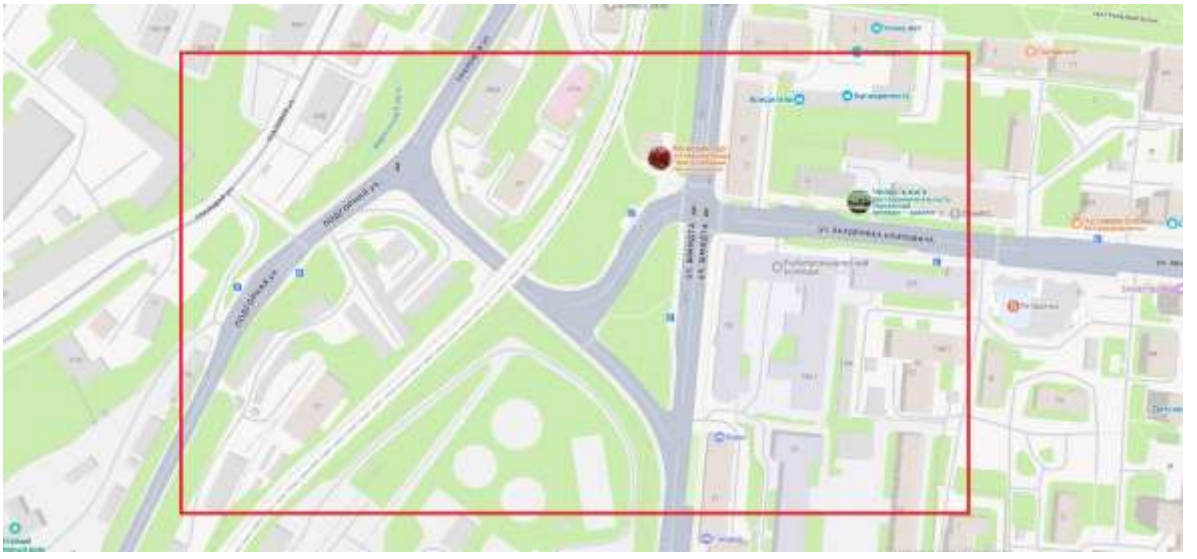


Рисунок 3 – Перекресток улиц Траловой и Шмидта

На данном пересечении дополнительным усложняющим фактором является большое количество грузового транспорта, поэтому в зимней период времени из-за сложного рельефа здесь также дополнительно возникают заторы. Также при разработке решений на данном участке необходимо учитывать, что движение транспорта проходит под железнодорожным мостом, из-за чего расширение проезжей части является трудоемкой задачей.

С учетом возможности резкого увеличения потребностей предприятий портовой зоны в перевозках, необходимо значительное изменение данной развязки. Это потребует больших финансовых вложений, но при существующей пропускной способности невозможно обеспечивать большие объемы перевозок.

Теперь рассмотрим ключевое узкое место южной хорды. Этим местом является съезд с улицы Ломоносова и улица Пархоменко, связывающая улицу Ломоносова с улицей Павлова (рисунок 4). Пропускная способность этой части южной хорды крайне мала из-за сложного профиля улицы Пархоменко (узкая, имеет серьёзный уклон и крайне извилистая).

Развитие этого участка необходимо для обеспечения вариативности движения транспорта в городе Мурманск. В этой связи можно разработать проекты включающие данный участок в дополнительную восточную дорогу города.



Рисунок 4 – Участок, связывающий улицу Ломоносова с улицей Павлова

С учетом рассмотренных данных, можно сделать вывод о том, что город Мурманск имеет плохую пропускную способность. Город изначально проектировался под суммарный транспортный поток, не превышающий 70 тысяч автомобилей, однако уже в 2000 году эта цифра была превзойдена. Таким образом, можно говорить, что в городе имеются серьёзные транспортные проблемы, связанные с низкой пропускной способностью ключевых точек главных дорожных осей города.

Одним из решений данной проблемы стало строительство объездной дороги, которое позволило немного разгрузить основные оси, однако не решило ключевые проблемы.

Одним из наиболее простых решений имеющихся проблем является применение адаптивного светофорного регулирования [2,3]. Данный способ повышения пропускной способности ключевых магистралей уже нашел широкое применение в различных регионах и позволил частично решить проблему пробок [4,5]. В работе [6] представлено применение компьютерного зрения и моделирования транспортных потоков с алгоритмом адаптивного типа управления светофорным объектов для предоставления приоритета движению грузовых транспортных средств. При помощи адаптивного светофорного регулирования достигается снижение аварийности среди участников дорожного движения [7]. На сегодняшний день использование опыта других регионов в городе Мурманск представляется разумным решением. В городе Мурманск рассматривается возможность внедрения автоматизированных систем управления дорожным движением. Некоторые элементы уже установлены и эксплуатируются. При постоянном росте уровня автомобилизации города на особо аварийных участках получается достигать снижения количества дорожно-транспортных происшествий.

Внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением позволяет достичь следующих положительных эффектов:

- повышение безопасности дорожного движения;
- возможность воздействовать на загруженные перекрестки, что позволяет снизить время задержек транспортного потока или обеспечить приоритетный проезд автомобилей;
- возможность снижать негативное воздействие транспорта на окружающую среду [8,9].

В работе [10] представлена детальная методика моделирования дорожного движения, включающая создание цифровой модели транспортной сети и проведение серии экспериментов с различными параметрами управления на примере среды Simulation Of Urban Mobility (SUMO). В ходе моделирования оценивались три ключевых показателя: накопленное количество транспортных средств на дорогах за время выполнения моделирования, накопленная разница между движущимися и простаивающими автомобилями, за время проведения моделирования, а также накопленный уровень заторов. Исходя из опыта использования автоматизированных систем управления дорожным движением можно сделать вывод, что для достижения максимального эффекта необходимо разработать цифровой двойник транспортной сети города. Это необходимо для проведения экспериментальных нововведений и моделирования различных ситуаций на дорогах города.

В качестве экзотических вариантов, еще в советское время рассматривался вариант строительства подземного тоннеля от улицы Ломоносова до улицы Карла Маркса, это позволило бы более эффективно использовать южную хорду, разгрузив таким образом главную ось.

Выводы.

Для решения ключевых проблем автотранспортной сети Мурманска существует несколько решений. В первую очередь, это применение адаптивного светофорного регулирования на ключевых перекрестках. Внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением с дополнительной возможностью создания цифрового двойника транспортной сети города Мурманск. При помощи цифрового двойника появится возможность моделирования различных ситуаций, что позволит отработать систему принятия решений и обеспечить устойчивость транспортной сети.

Второе, это организация дополнительных парковок в центре города и развитие сети подземных парковок.

Список использованных источников

1. Arctic Development in Connection with the Northern Sea Route: A Review of Ecological Risks and Ways to Avoid Them / I. Makarova, D. Makarov, P. Buyvol [et al.] // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10, No. 10. – P. 1415. – DOI 10.3390/jmse10101415. – EDN JRJADO.

2. Мероприятия по оптимизации светофорного регулирования, управлению светофорными объектами, включая адаптивное управление / Р. А. Сподарев, С. Р. Сподарев, Е. А. Кубряков [и др.] // Наука и инновации в современном мире : Материалы Национальной научно-практической конференции, Воронеж, 22 января 2024 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. – С. 35-37. – DOI 10.58168/SIMW2024_35-39. – EDN AFWSFU.

3. Баринов, А. С. Применение автоматизированных систем управления дорожным движением / А. С. Баринов, Е. С. Гусев // Наука и образование - 2021 : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Мурманск, 01 декабря 2021 года / Мурманский государственный технический университет. – Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2022. – С. 367-370. – EDN UBQKTT.

4. Рутковский, В. Н. Анализ, разработка и реализация адаптивных алгоритмов (гибкого) светофорного регулирования / В. Н. Рутковский, Д. В. Капский // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 3. – С. 4-16. – DOI 10.21122/2309-4923-2023-3-4-16. – EDN XEUMZW.

5. Совершенствование адаптивного регулирования транспортных потоков на светофорном объекте / И. А. Чебыкин, А. Н. Новиков, В. Э. Клявин, А. С. Сысоев // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-1(89). – С. 108-114. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-108-114. – EDN IBDWFB.

6. Фадюшин, А. А. Алгоритм адаптивного светофорного регулирования на основе детекции грузовых транспортных средств / А. А. Фадюшин, А. В. Писцов // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 12(48). – С. 48-54. – DOI 10.30987/2782-5957-2025-12-48-54. – EDN NKSHKI.

7. Повышение безопасности движения маршрутного пассажирского транспорта с использованием адаптивного управления светофорными объектами / Ю. Лю, Д. В. Капский, С. А. Ляпин, Д. С. Саражинский // Мир транспорта и технологических машин. – 2025. – № 2-1(89). – С. 52-59. – DOI 10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-52-59. – EDN ALMLFK.

8. Челтыбашев, А. А. Особенности внедрения автоматизированной системы управления дорожным движением на примере города Мурманска / А. А. Челтыбашев, А. С. Баринов, Н. Ю. Нерубащенко // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2023. – № 1(93). – С. 121-130. – EDN LMKHQK.

9. Ахунова, И. Б. Алгоритм адаптивного регулирования светофорного объекта в условиях изменения нагрузки на городскую улично-дорожную сеть / И. Б. Ахунова, В. В. Артамонова, Г. А. Гук // Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства : Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, Ижевск, 26–27 апреля 2024 года. – Ижевск: Издательство УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2024. – С. 49-53. – EDN IOEXWP.

10. Алешкин, А. С. Оптимизация светофорного движения в транспортной сети города / А. С. Алешкин // International Journal of Open Information Technologies. – 2026. – Т. 14, № 4. – С. 19-25. – EDN XLWTGK.

СЕКЦИЯ 7

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 631.82

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Александрова Александра Анатольевна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: aleksalek21@mail.ru

Сенько Дмитрий Евгеньевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант

Носков Артем Дмитриевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант

Аннотация. В представленной статье рассматривается три технологические схемы для внесения нескольких видов минеральных удобрений. Минусы и недостатки каждой схемы. Поясняется из чего складывается неравномерность распределения удобрений по поверхности поля в каждой схеме.

Ключевые слова: минеральные удобрения, разбрасыватель, равномерность внесения.

Минеральные удобрения являются одной из важных частей в растениеводстве. Они помогают восполнить баланс недостающих элементов в почве. Поэтому важно, чтобы внесение минеральных удобрений было качественным и соответствовало агротехническим требованиям.

Технологический процесс внесения нескольких видов минеральных удобрений включает все или некоторые из операций [1]:

1. погрузка удобрений в измельчитель-растариватель
2. измельчение удобрений
3. дозирование и загрузка компонентов в смесительную установку
4. смешивание удобрений в смесительной установке
5. загрузка удобрений в транспортную машину
6. доставка удобрений к месту внесения
7. перегрузка удобрений в кузов или в бункер машины для внесения удобрений
8. дозирование и подача удобрений к распределительному рабочему органу
9. движение удобрений в распределительном рабочем органе
10. распределение удобрений по ширине захвата машины через высевные окна
11. распределение удобрений по поверхности поля

Внесение нескольких видов минеральных удобрений осуществляется следующими способами:

1. раздельное последовательное внесение каждого из компонентов
2. внесение предварительно приготовленных смесей удобрений
3. внесение смесей минеральных удобрений, приготавливаемых в процессе внесения

Рассмотрим каждый из этих способов.

Схема 1. Раздельный способ внесения.

При раздельном внесении минеральных удобрений из схемы технологического процесса исключаются операции дозирования и загрузки компонентов в смесительную установку, а также смешивания. Тогда схема примет следующий вид (рисунок 1).

Раздельное внесение компонентов минеральных удобрений можно осуществить путём последовательного распределения каждого из компонентов или оборудованием машины несколькими рабочими органами отдельно для каждого из вносимых видов удобрений.

При последовательном внесении технологический процесс необходимо повторить число раз, соответствующее количеству вносимых компонентов. Такое внесение экономически нецелесообразно из-за увеличения числа проходов, которое приводит к увеличению затрат труда и материальных средств, а также к повышенному уплотнению почвы [2].

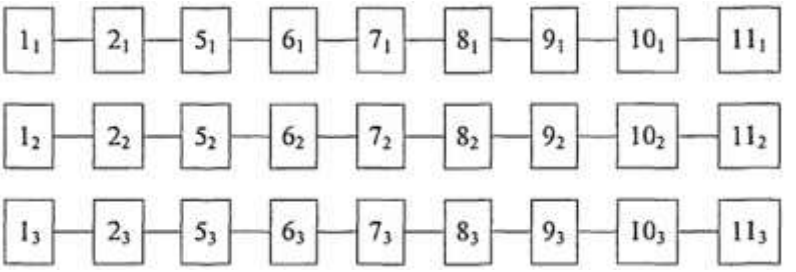


Рисунок 1 - Схема технологического процесса раздельного внесения нескольких видов минеральных удобрений

Машины, обеспечивающие распределение каждого компонента отдельным рабочим органом, должны иметь число бункеров и распределительных рабочих органов равное числу вносимых компонентов. Это усложняет конструкцию машины.

При таком способе необходимо параллельно осуществлять число технологических процессов, соответствующее числу вносимых компонентов. При этом равномерность распределения близка к равномерности, достигаемой при последовательном внесении удобрений.

Неравномерность распределения удобрений по поверхности поля при таком способе будет складываться из неравномерности дозирования удобрений из бункера и неравномерности распределения удобрений по ширине захвата машины. В результате суммарная неравномерность составит 7-9%, что значительно ниже допускаемой агротехническими требованиями неравномерности (15% [3]).

Схема 2. Внесение предварительно приготовленной смеси.

При внесении смесей минеральных удобрений, приготовленных предварительно в тукосмесительной установке, схема технологического процесса включает все приведенные выше операции (рисунок 2).

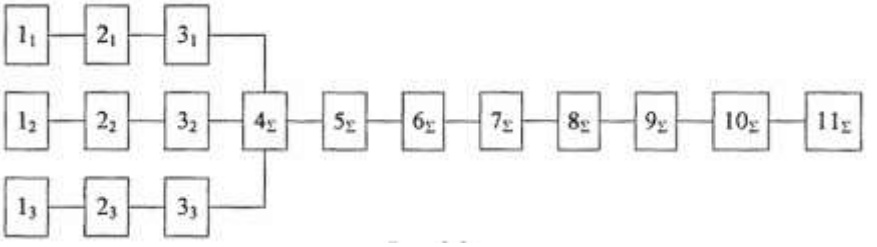


Рисунок 2 - Схема технологического процесса внесения смесей минеральных удобрений.

При внесении удобрений по такой схеме суммарная неравномерность распределения компонентов будет складываться из неравномерности дозирования компонентов при загрузке их в смесительную установку, неоднородности смешивания удобрений, расслоения полученной смеси при перегрузках и транспортировании, неравномерности дозирования удобрений из бункера машины для внесения удобрений, расслоения смеси при движении её в распределительном рабочем органе, неравномерности распределения удобрений по ширине захвата машины. Суммарная неравномерность распределения каждого из компонентов может достигать 50-90% и более, что значительно превышает агротехнические требования.

Для использования такой схемы внесения удобрений необходимо совершенствовать параметры и режимы работы всех рабочих органов, направленное на снижение неравномерности дозирования и распределения, а также расслоения туковых смесей.

Схема 3. Использование машин со смесительным устройством.

Обеспечить внесение нескольких видов минеральных удобрений без их предварительного смешивания возможно при оборудовании машины смесительным устройством. В результате схема технологического процесса упрощается из-за исключения операций дозирования, загрузки компонентов в смесительную установку и смешивания в ней удобрений, а движение материала по распределительному рабочему органу заменяется движением по смесительно-распределительному рабочему органу (рисунок 3).

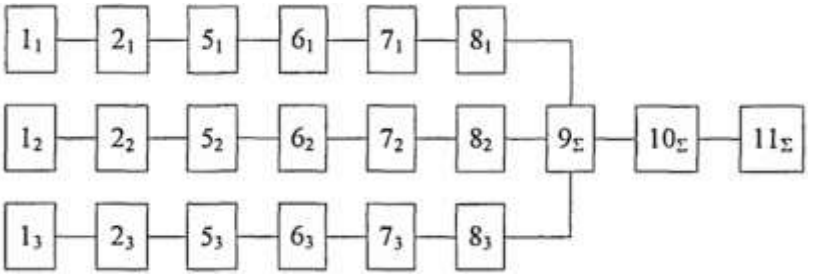


Рисунок 3 - Схема технологического процесса внесения нескольких видов минеральных удобрений без их предварительного смешивания.

В результате реализации такой технологической схемы исключается влияние первоначальной неоднородности смеси (3-5%), а также значительно снижается время воздействия внешних факторов на готовую смесь при перегрузках и транспортировании, в результате которых происходит её расслоение. Кроме того, при движении смеси удобрений в смесительно- распределительном рабочем органе не только не происходит её расслоение, а наоборот, происходит её смешивание.

При такой схеме неравномерность распределения удобрений будет складываться из неравномерности дозирования удобрений из бункера, неоднородности смешивания удобрений и неравномерности распределения удобрений по ширине захвата машины. Суммарная неравномерность распределения каждого из компонентов при таком способе будет находиться в пределах 10 – 13% [4].

Кроме того, в машинах, оборудованных смесительным устройством или сочетающих его с распределительным рабочим органом, имеется возможность изменять соотношение компонентов в процессе работы, например, при наличии системы автоматического управления в соответствии с заложенной агрохимической картой поля.

На основании анализа технологических схем машин для внесения нескольких видов минеральных удобрений установлено, что наиболее перспективными путями повышения качества распределения минеральных удобрений являются:

1. совершенствование рабочих органов, направленное на снижение расслоения тукосмесей
2. разработка и использование машин, в которых смешивание осуществляется самим распределительным рабочим органом или смесительным устройством, установленным на машине

Список использованных источников

1. Забродин В.П. Шнековые распределители минеральных удобрений / В.П. Забродин. - Ростов н/Д: ООО «Терра»; НПК «Гефест», 2003.- 132 с.

2. Комплексные удобрения: Справочное пособие// Минеев В.Г., В.П. Грызлов, Р.И. Синдяшкина и др.; Под ред. В.Г. Минеева. - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Агропромиздат, 1986. -252 с.

3. Догановский М.Г. Механизация внесения удобрений/ М.Г. Догановский, Е.В. Козловский. - Л., Колос, 1976. - 320 с.

4. Смешение в аппаратах с цилиндрическими винтовыми спиралями / А.А. Александровский, Б.Ю. Ланге, П.А. Преображенский и др.// Спирально-винтовые транспортёры (гибкие шнеки) и смесители. - Казань, 1970. - С. 123-137.

УДК 631.173:629
68.85.87: Транспорт в сельском хозяйстве

ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДРЕССОРИВАНИЯ КАБИН АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Вотановский Кирилл Дмитриевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, магистрант
e-mail: votan987456321@yandex.ru

Брусенков Никита Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, бакалавр
e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru

Брусенков Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru

Технический уровень автотракторной техники определяется не только совершенством их технических показателей, но и уровнем обеспечения условий труда и безопасности тракториста-машиниста. Условия и безопасность труда на автотракторной технике, сохранение здоровья тракториста-машиниста должны рассматриваться как социальная задача, решение которой позволит повысить производительность труда, снизить уровень общей и профессионально-обусловленной заболеваемости и повысить престижность профессии.

Условия труда при работе на автотракторной технике регламентируются государственными стандартами. К числу регламентируемых показателей относятся уровень концентрации пыли в кабине в зависимости от содержания SiO_3, параметры вибрации в вертикальном и горизонтальном направлении на сиденье тракториста-машиниста, микроклимата в кабине (температура, влажность, скорость движения воздуха в зоне дыхания, перепад температур в кабине), освещенность участков поля и дороги, внутренние размеры кабины, расположение органов управления (рулевого колеса, рычагов механизмов поворота, опорных площадок, часто используемых панелей и другие), силы сопротивления перемещению органов управления, средства отображения информации, обзорность с рабочего места тракториста-машиниста и другие.

Интенсивность шума, излучаемого автотракторной техникой, характеризует технический уровень его конструкции, технологии и культуры производства. Повышенный шум оказывает негативное влияние на окружающую среду и условия труда тракториста-машиниста, вызывая утомляемость, а при длительном воздействии – профессиональные заболевания, является одной из причин снижения производительности труда. Структурный шум –
звуковая вибрация конструкции при непосредственном воздействии — также оказывает вредное влияние на человека, кроме того, может вызывать ослабление крепежа, усталостные поломки, выход из строя контрольно-измерительных и осветительных приборов и так далее.

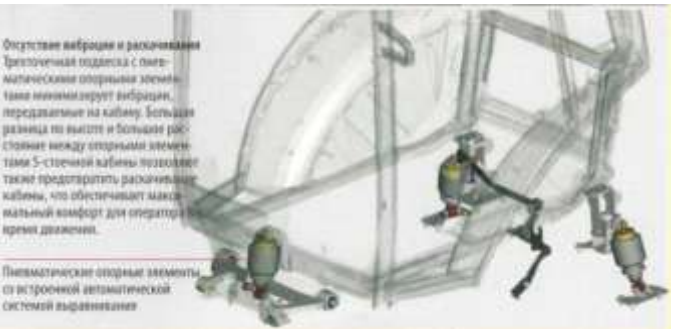
Единственно полезным фактором является то, что излучаемый шум может быть использован как источник информации о техническом состоянии узлов и агрегатов трактора как при специальной приборной диагностике, так и при субъективном восприятии оператором.

Для создания удобств при управлении и улучшения условий труда автотракторную технику оснащают цельнометаллической кабиной, в которой тракторист-машинист проводит большую часть своего времени. Главными условиями повышения работоспособности тракториста-машиниста являются снижение в кабине шумо- и виброактивности, которые возникают из-за работы двигателя, механизмов трансмиссии (у гусеничных тракторов – дополнительно при работе гусеничного движителя), используемого навесного оборудования и так далее. Шумовую активность можно снизить за счет использования шумоизолирующего материала, глушителей отработавших газов и так далее, а вибрационные нагрузки – более совершенными конструкциями подвесок, подрессоренными сиденьями и другими [1,2,3,4,5]. Конструкции систем подрессоривания отечественной автотракторной техники существенно отличаются от зарубежной, что мы и рассмотрим далее.

Современная функциональная кабина всех тракторов TERRION ATM 3180 и 5280 для повышения комфорта и снижения утомляемости механизатора кабина устанавливается на демпфирирующих элементах или на пневматических амортизаторах с регулятором уровня) и имеет большую площадь остекления (рисунок 1, а).



а) подвеска кабины тракторов TERRION ATM 5280



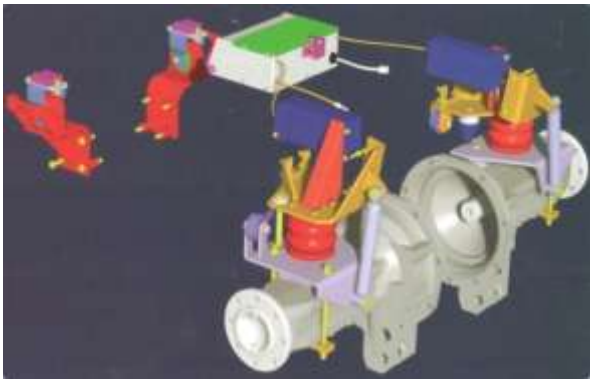
б) подвеска кабины тракторов Fendt серии 900



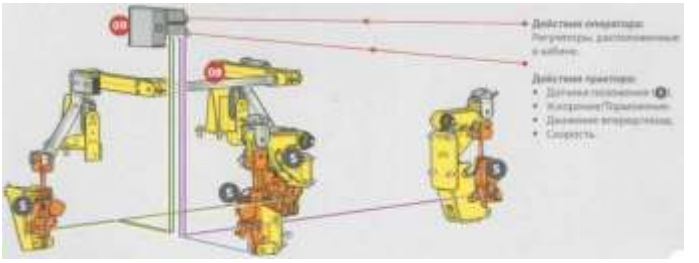
в) подвеска кабины тракторов NEW HOLLAND T9



г) подвеска кабины тракторов CLAAS XERION 5000



д) Подвеска кабины тракторов MASSEY FERGUSON серии MF8400



е) Подвеска кабины тракторов MASSEY FERGUSON серии MF8600: 08 – стабилизатор поперечной устойчивости; 09 –блок управления

Рисунок 1 – Подвески иностранных тракторов

«Панорамная» кабина тракторов MASSEY FERGUSON серии MF 8600 опирается на четыре гидравлических амортизатора, которые обеспечивают поддержку. Два датчика на противоположных по диагонали углах автоматически регистрируют наклон кабины, по этим данным гидравлические

амортизаторы поднимаются, чтобы восстановить равновесие. Конструкция включает в себя торсионную подвеску, которая связывает левую и правую задние стороны кабины. Она выполняет функцию стабилизатора, сокращающего поперечное перемещение. При помощи комплекта датчиков система подвески кабины OptiRide обрабатывает информацию о многих функциях трактора: ускорении, торможении, движении вперед/назад и так далее, а блок управления регулирует амортизаторы, компенсируя их работу, чтобы добиться большего комфорта во время движения. Электронный управляющий модуль рассчитывает оптимальные настройки амортизаторов, используя информацию со встроенных датчиков и систему CAN-шины трактора. Для полного комфорта работы в кабине система OptiRide Plus предлагает возможность задавать жесткость/ мягкость движения во время работы. Эта инновационная технология использует простой поворотный регулятор, расположенный в кабине, поэтому задавать параметры движения невероятно просто.

Кабина тракторов Fendt серии 900 Vario представляет собой рабочее место с огромным объемом свободного пространства в 3,5 м³. Пневматическая трехточечная подвеска кабины со встроенной системой выравнивания позволяет снизить уровень вибрации до минимума, обеспечивая высокий уровень комфорта во время движения (рисунок 1, б).

В тракторах NEW HOLLAND T9 просторная, бесшумная кабина (69 дБ) обеспечивает обзорность на 360º. Вращающееся сиденье с пневматической подвеской и подогревом позволяет точно регулировать степень амортизации и обеспечивает оптимальный комфорт при работе в холодную погоду. Подвеска кабины Comfort Ride™ включает в себя четыре пружины и амортизаторы, установленные по углам кабины с оригинальной системой стабилизации (рисунок 1, в).

Кабина тракторов CLAAS XERION 5000 с пневматической подвеской включает в себя регулируемую рулевую колонку с тремя положениями, кондиционер, кресло с возможностью поворота на 20°, просторный холодильный отсек объемом 43 литра слева от сиденья механизатора, радио с CD-MP3 (рисунок 1, г).

Для полноты комфорта при езде на всех тракторах MASSEY FERGUSON серии MF8400 применяется двухступенчатая регулируемая пневматическая подвеска, которая позволяет одним нажатием кнопки осуществлять переключение между двумя настройками жесткости для удобства работы в поле или при движении по автодороге. Эта система, управляемая оператором, более эффективно стабилизирует движение кабины и оснащена меньшим количеством механических креплений между кабиной и ведущим мостом в блоке с коробкой передач (кабина закреплена на мягких опорах спереди, а система двойной подвески кабины функционирует сзади) (рисунок 1, д).

Система подвески OptRide Plus тракторов MASSEY FERGUSON серии MF8600 – это система динамической подвески кабины, которая постоянно подстраивается под разнообразные условия движения, используя многочисленные встроенные датчики (рисунок 1, е). Кабина опирается на четыре гидравлических амортизатора, которые обеспечивают поддержку. Два датчика на противоположных по диагонали углах автоматически регистрируют наклон кабины, по этим данным гидравлические амортизаторы поднимаются, чтобы восстановить равновесие. Конструкция включает в себя торсионную подвеску, которая связывает левую и правую задние стороны кабины. Она выполняет функцию стабилизатора, сокращающего поперечное перемещение. При помощи комплекта датчиков система подвески кабины OptRide Plus обрабатывает информацию о многих функциях трактора: ускорении, торможении, движении вперед/назад и так далее, а блок управления регулирует амортизаторы, компенсируя их работу, чтобы добиться большего комфорта во время движения. Электронный управляющий модуль, своего рода «центральная нервная система» всего устройства, рассчитывает оптимальные настройки амортизаторов, используя информацию со встроенных датчиков и систему CAN-шины трактора. Для полного комфорта работы в кабине система OptRide Plus предлагает возможность задавать жесткость/мягкость движения во время работы. Эта инновационная технология использует простой поворотный регулятор, расположенный в кабине, поэтому задавать параметры движения невероятно просто. В свою очередь, это снижает усталость при работе на неровных поверхностях, экстренном торможении и ускорении, таким образом, оператор испытывает меньше неприятных ощущений, нагрузок и усталости, что обеспечивает более комфортные условия работы.

В тракторах CASE IH серии PUMA просторная кабина Surround Vizion отличается панорамным лобовым стеклом (общая площадь остекления кабины составляет 5,87 м^2), хорошей звукоизоляцией и беспрепятственной обзорностью. Уровень шума внутри кабины составляет 69 дБ.

Тракторы Challenger серии MT600C (модели MT645C; MT655C; MT665C; MT675C; MT685C) могут быть оснащены одной из двух систем подвески кабины:

1. Версия OptiRide: управление амортизирующей системой выполняется автоматически. Оператор не может выполнять регулировку системы.

2. Вариант OptiRide Plus: для улучшения реакции кабины четыре цилиндра управляются независимо друг от друга. Управление системой выполняется при помощи контроллера, расположенного в кабине, и четырех датчиков положения, установленных внутри цилиндров. Данный вариант подвески позволяет оператору выполнять регулировку системы при помощи органов управления в кабине.

Управление подвеской кабины OptiRide Plus: включение подвески кабины выполняется нажатием на сторону переключателя ((A)), на которой изображен символ «Auto», расположенного в кабине на панели приборов. Для отключения подвески необходимо нажать на сторону переключателя, на которой изображен замок. Система блокируется в определенном положении.

Установка кабин на всех моделях тракторов серии К3000АТМ «Кировец» производится при помощи демпферирующих элементов либо на пневматических управляемых узлах, снижающих вибрацию кабины трактора. От тепловых и шумовых воздействий стенки и пол кабины изнутри и снаружи защищены изоляционным материалом.

Кабина тракторов МТЗ-100/102 герметизирована и выполнена с жестким каркасом, закреплена на остове трактора через четыре резиновых амортизаторах. Она оборудована одноместным сиденьем (основным) с торсионной подвеской и гидроамортизатором, а также дополнительным сиденьем с эластичным элементом (без подвески).

На гусеничном тракторе ДТ-75 и его модификациях кабина установлена на специальной платформе, состоящей из продольных и поперечных профильных балок, собранных совместно с крыльями обшивки в жесткую прочную рамку. Платформа прикреплена к верхним кронштейнам и задним фланцам рамы шестью резиновыми амортизаторами: два в передней части установлены на верхних кронштейнах рамы и по два на кронштейнах задних фланцев рамы. Амортизаторы, обеспечивая упругую связь кабины с рамой, смягчают толчки от остова трактора при движении по неровностям почвы.

На гусеничном тракторе Т-150 установлена двухместная цельнометаллическая кабина, покрытая шумоизоляционной мастикой и шумоизоляционным и водонепроницаемым картоном. Кабина закреплена на раме четырьмя резиновыми амортизаторами.

На гусеничном тракторе Т-130 кабина двухместная, двухдверная, установлена на крылья, заднюю и переднюю балки через резиновые прокладки.

Кабина цельнометаллическая трехместная со спальным местом (КамАЗ-53212/5410/54112 и другие) или без него (КамАЗ-5320/5511/55102/43255 и другие). Расположена над двигателем, оборудована шумо- и термоизоляцией и крепиться к раме в четырех точках – двух передних шарнирных механизма и двух задних подрессоренных опор с запорными механизмами.

Кабина тракторов ХТЗ-16131, ХТЗ-16331 каркасная, одноместная, установлена на четырех резиновых амортизаторах, герметизирована, термо- и шумоизолирована, оборудована вентиляционно-отопительной установкой с обогревом и обдувом лобовых стекол.

Крепление кузова с оперением к раме автомобиля УАЗ-3153 осуществляется в 16 точках, остальных автомобилей семейства УАЗ-31512 – в 14 точках. Кабина автомобилей УАЗ-3741, УАЗ-3962, УАЗ-2206, УАЗ-3909 к раме крепится в десяти точках, кабина автомобилей УАЗ-3303, УАЗ-33036, УАЗ-39095 – в четырех точках, кабина автомобиля УАЗ-39094 – в шести точках.

Кабина автомобилей семейства ЗИЛ-43360 – цельнометаллическая, трехместная, сварная. В передней части кабина опирается на две резиновые подушки. Задняя подвеска торсионного типа. Закрутка торсиона осуществляется двумя рычагами, расположенными на его шлицевых концах. Жесткость торсионной подвески регулируют поворотом рычагов на шлицевом соединении при поднятой кабине. Правильная регулировка жесткости торсиона обеспечивает среднее положение ролика ограничителя хода кабины. Подвеска кабины снабжена двумя гидравлическими амортизаторами.

Кабина автомобилей ЗИЛ-433310, ЗИЛ-431410 и их модификаций цельнометаллическая, трехместная, с цельным панорамным не открывающимся стеклом ветрового окна. Кабина крепится в трех точках на кронштейнах рамы.

Кузов автомобилей семейства «Газель» крепится к раме в шести точках через специальные резиновые подушки и кронштейны, а также в четырех точках – жестко (у задних колесных ниш). Кузов – цельнометаллический, стальной, с перегородкой между кабиной и грузовым салоном.

Вывод. Представленный обзор существующих конструкций подрессоривания кабин автотракторной техники отечественного и зарубежного производства показывает, что они разнообразны по конструкции и имеют как преимущества, так и недостатки. Многие технические решения, предложенные отечественными и зарубежными исследователями, были успешно реализованы в современной автотракторной технике и позволили существенно уменьшить уровень виброакустических нагрузок на рабочем месте трактористов-машинистов.. Однако для обеспечения технического прогресса

в автотракторостроении требуются развитие методов и разработка новых технических решений по снижению вибрации и шума на пути их распространения к кабине как основному рабочему месту. Например, на основании научно-технических источников с целью снижения вибрационной нагруженности кабины предлагаем использование системы подрессоривания с меньшей жесткостью, а также более эффективных устройств в подвеске сидения оператора, а для уменьшения шума – применение более современных шумоизолирующих материалов, глушителей отработавших газов и так далее.

Список использованных источников

1. Брусенков, А.В. Тенденции развития систем подрессоривания кабин тракторов / А.В. Брусенков. К.Д. Вотановский, Н.А. Брусенков // Машиностроение в АПК: научное, кадровое и информационное обеспечение: материалы международной научно-технической конференции; под общ. ред. проф. А.В. Дранникова; Воронежский государственный университет инженерных технологий. – Воронеж: ВГУИТ, 2024. – С. 222-224.

2. Болотов, А.К. Конструкция тракторов и автомобилей: учебное пособие для высших учебных заведений / А.К. Болотов, А.А. Лопарев, В.И. Судницын. – М.: КолосС, 2006. – 352 с.

3. Брусенков, А.В. Основы управления колесной автотракторной техникой [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Брусенков. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – 100 с.

4. Баловнев, В. И. Автомобили и тракторы: краткий справочник / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.

5. Брусенков, А.В. Рабочее и вспомогательное оборудование автотракторной техники [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Брусенков, Д.Н. Коновалов, Н.П. Пучков. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. - 130 с.

УДК 637.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ ПЕРВИЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МОЛОКА

Катаев Иса Хучейнович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Сапрыкин Антон Игоревич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Павлов Анатолий Григорьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Агроинженерич»
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Первичное охлаждение парного молока до температуры +4…+6 °С является критическим технологическим звеном, определяющим сохранение исходных физико-химических и микробиологических показателей сырья [1]. Несмотря на широкое применение пластинчатых теплообменных аппаратов на крупных перерабатывающих предприятиях, их эксплуатация в условиях малых и средних фермерских хозяйств сопряжена с существенными ограничениями: высокой стоимостью импортных уплотнительных комплектов, чувствительностью к гидроударам, невозможностью механической очистки гофрированных каналов и зависимостью от специализированного сервисного обслуживания [2]. В этой связи кожухотрубные теплообменники, обладающие высокой ремонтопригодностью, отсутствием резиновых уплотнений в проточной части и допускающие визуальный контроль внутренних полостей, представляют собой наиболее рациональное техническое решение для локальных производств [3]. Однако существующие универсальные методики их проектирования не учитывают нелинейную температурную зависимость реологических свойств молока, склонность сырья к термоадгезионному загрязнению и влияние гидродинамической асимметрии потоков на интегральную эффективность теплообмена.

Цель настоящего исследования – повышение тепловой эффективности и снижение капитально-эксплуатационных затрат при первичном охлаждении молока за счёт экспериментального обоснования влияния направления потоков и конфигурации перегородок на интенсивность теплообмена, а также разработки адаптированной методики проектирования.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, позволяющей варьировать направление движения теплоносителей (прямоток/противоток) и конфигурацию сегментных перегородок в межтрубном пространстве (90°–180°–90° и 180°–180°–180°). Контроль осуществлялся поверенными датчиками температуры, давления и расхода. Для углублённого анализа гидродинамической и тепловой структуры потоков проведено трёхмерное численное моделирование методом вычислительной гидродинамики (CFD) с применением SST k-ω модели турбулентности.

Анализ экспериментальных данных выявил существенное влияние направления потоков на интегральную эффективность теплообмена. При противоточной схеме движения теплоносителей коэффициент теплопередачи K превышал значения для прямотока на 17,5–20,0 % при идентичных конструктивных параметрах. Сравнение двух конфигураций сегментных перегородок показало преимущество схемы 180°–180°–180° перед конфигурацией 90°–180°–90°. При одинаковом направлении потоков применение схемы 180°–180°–180° обеспечивало повышение коэффициента теплопередачи на 12,0–12,4 %, снижение гидравлического сопротивления на 3–4 % и сокращение объёма застойных зон в межтрубном пространстве на 35 %.

На основании экспериментальных данных и верифицированного CFD-моделирования определён эмпирический поправочный коэффициент k, учитывающий влияние направления потоков и конфигурации перегородок на эффективность теплообмена. Основное уравнение тепловой нагрузки принимает вид:

$$Q = k \cdot K \cdot F \cdot \Delta t_{ср}, \quad (1)$$

где Q – тепловая нагрузка, Вт; K – расчётный коэффициент теплопередачи по стандартным критериальным зависимостям, Вт/(м²·К); F – поверхность теплообмена, м²; $\Delta t_{ср}$ – среднелогарифмический температурный напор, К. Значения коэффициента k приведены в таблице 1.

Интеграция поправочного коэффициента k в проектный алгоритм позволила повысить точность определения требуемой поверхности теплообмена на 15–20 % и снизить металлоёмкость аппарата на 12–18 % без потери тепловой эффективности. Многокритериальная оптимизация методом NSGA-II сформировала фронт Парето из 47 недоминируемых решений. Компромиссный вариант, выбранный методом взвешенных сумм, обеспечил следующие характеристики: диаметр труб 20 мм, длина аппарата 1000 мм, диаметр кожуха 315 мм, схема перегородок 180°–180°–180°. Масса аппарата снижена на 15 %, гидравлические потери – на 12 %, коэффициент теплопередачи сохранён на уровне 2145 Вт/(м²·К).

Таблица 1

Сводные результаты экспериментальных исследований

№ эксп	Схема	Перегородки	Хладоноситель	$T_{нач}$, °C	$T_{кон}$, °C	ΔT, °C	τ, с	$K_{ср}$, Вт/(м²·К)	$\Delta P_{ср}$, кПа	η, %	k
1	Противоток	90°–180°–90°	Вода (13 °C)	37,0	20,0	17,0	410	1847	18,5	68,0	1,00
2	Прямоток	90°–180°–90°	Вода (13 °C)	37,0	21,0	16,0	415	1523	18,2	64,0	0,82
3	Противоток	180°–180°–180°	Рассол (–3 °C)	37,0	4,0	33,0	272	2068	17,8	92,0	1,00
4	Прямоток	180°–180°–180°	Рассол (–3 °C)	37,0	5,0	32,0	412	1712	17,5	89,0	0,83

Экономическое обоснование внедрения проводилось методом сравнения с импортным пластинчатым теплообменником аналогичной производительности (1000 л/ч). Капитальные затраты на изготовление кожухотрубного аппарата на 38 % ниже за счёт использования стандартного трубного сортамента и отсутствия дорогостоящих штампованных пластин. Эксплуатационные расходы за 5 лет снижаются на 45 % за счёт отсутствия необходимости периодической замены уплотнительных комплектов и упрощения процедур санитарной обработки. Среднее отклонение расчётных значений коэффициента теплопередачи от опытных составило 4,0 %, что подтверждает адекватность принятой математической модели.

Таким образом, разработанная специализированная методика проектирования кожухотрубных теплообменников, интегрирующая экспериментально обоснованный поправочный коэффициент k, многокритериальную оптимизацию и учёт реологической специфики молока, обеспечивает создание энергоэффективного и экономически целесообразного оборудования для первичного охлаждения молока.

Внедрение предложенных технических решений в условиях малых и средних фермерских хозяйств способствует укреплению продовольственной безопасности, снижению ресурсопотребления и повышению конкурентоспособности отечественного молокоперерабатывающего оборудования.

Учет нелинейной реологии молока и термоадгезионного загрязнения требует модификации классических критериальных зависимостей при проектном расчете теплообменных аппаратов. Введение итерационного алгоритма пересчета теплофизических параметров по длине трубного пространства позволяет компенсировать систематические погрешности, возникающие при переходе потока из развитого турбулентного в ламинарный режим в рабочем диапазоне 37–4 °C. Интеграция экспериментально верифицированного поправочного коэффициента k в основное уравнение теплового баланса обеспечивает точность определения поверхности теплообмена в пределах ±3 %, что исключает необоснованное завышение металлоемкости конструкции и гарантирует соблюдение санитарно-гигиенических требований EHEDG при длительной эксплуатации.

Практическая адаптация разработанных аппаратов к условиям фермерских и малых перерабатывающих предприятий предполагает обеспечение полной технологической совместимости с циклическими процедурами безразборной мойки (CIP) и паровой стерилизации (SIP). Отсутствие полимерных уплотнительных элементов в проточной зоне трубного пучка минимизирует риски миграции продуктов деградации резины в пищевую среду и существенно снижает трудоемкость сервисного обслуживания. Конструктивная оптимизация сегментных перегородок по схеме 180°–180°–180° исключает формирование локальных застойных зон, что препятствует накоплению белково-минеральных отложений и увеличивает межсервисный интервал до 3000–4000 часов непрерывной работы при сохранении исходных теплотехнических характеристик.

Перспективы масштабирования предложенной методики проектирования связаны с интеграцией цифровых двойников и систем предиктивной аналитики на базе промышленных IoT-сенсоров. Непрерывный мониторинг температурных градиентов и гидравлического сопротивления в реальном времени позволяет автоматически корректировать режимы охлаждения и прогнозировать динамику формирования fouling-слоя без остановки технологической линии. Внедрение таких интеллектуальных контуров управления в совокупности с оптимизированной конструкцией кожухотрубных теплообменников обеспечивает снижение совокупной стоимости владения (TCO) на 25–30 % и соответствует стратегическим векторам ресурсосберегающей цифровой трансформации агропромышленного комплекса.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 52054-2021. Молоко натуральное коровье. Сырье. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2022. – 14 с.

2. Сергеев В. Н. Пластинчатые теплообменники: конструкция, расчет, эксплуатация и ремонт. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 240 с.

3. Кук Г. А. Процессы и аппараты молочной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 432 с.

4. Shah R. K., Sekulić D. P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. – 936 p.

УДК 631.563.8
68.39.00 Сельское и лесное хозяйство. Животноводство

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ КОНСЕРВАНТОВ

Матвеев Антон Андреевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» магистрант,
e-mail: anton.matweew59@gmail.com

Глазков Юрий Евгеньевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н.,
доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта»
e-mail: glazkov_yura1@mail.ru

Глазков Владислав Юрьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
e-mail: zveroboy2003@mail.ru

Букина Маргарита Александровна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
e-mail: mangle.fazber@bk.ru

Букина Анастасия Александровна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», студент,
e-mail: foxy.old@inbox.ru

Заготовка зерностержневой массы из высоковлажных початков кукурузы – это поточная технология, причем темпы заготовки и закладки ее в хранилища, согласно исследованиям [1], должны составлять 150–180 тонн в сутки.

Поточность линии заготовки зерностержневой массы кукурузы с высокой влажностью при использовании сыпучих химических консервантов обусловливает применение в ее составе устройств непрерывного действия для дозирования указанных консервантов.

По типу протекания процесса дозирование может быть порционным или непрерывным. В зависимости от принятого способа дозирования дозаторы подразделяются на объемные или весовые с порционной или непрерывной выдачей материала [2, 3].

Наиболее простым способом и устройством для дозирования сыпучих материалов является гравитационный. Однако этот способ не получил широкого применения в практике из-за высоких требований к дозируемым сыпучим материалам. В частности, это относится к слежавшимся химическим консервантам. Все остальные способы объемного дозирования имеют в своем конструктивном исполнении активные рабочие органы, которые совершают прямолинейные, круговые и колебательные движения.

В практике дозирования сыпучих материалов широкое распространение получили шнековые устройства, причем большинство конструктивных схем таких дозаторов имеют горизонтальное размещение шнека [4].

Для дозированного введения сыпучих химических консервантов норвежская фирма выпускает устройство для дозирования со шнековым рабочим органом, которое навешивается на полевой самоходный измельчитель ДМЕ–350.

Принципиальная схема дозатора сыпучих химических консервантов норвежской фирмы приведена на рисунке 1.

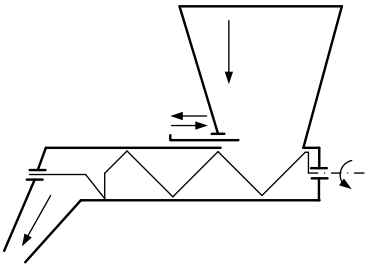


Рисунок 1 - Схема дозатора сыпучих химических консервантов

Величина подачи сыпучих химических консервантов регулируется изменением частоты вращения электродвигателя постоянного тока, питание которого осуществляется от аккумулятора (генератора) самоходного измельчителя.

Известная немецкая фирма «*Fortschritt*» разработала дозатор сыпучих химических консервантов, в котором шнековый рабочий орган объединен с лопастным метателем. Дозатор выполнен как навесной агрегат, работающий совместно с полевыми измельчителями Е–280, Е–281.

Регулирование величины подачи внесения сыпучих консервантов в измельченную влажную зеленую массу осуществляется путем изменения частоты вращения шнека, который приводится от индивидуального двигателя внутреннего сгорания. Для надежной работы агрегата необходимо использовать только сыпучие химические консерванты без комков, то есть – не слежавшиеся.

Схема такого дозатора приведена на рисунке 2.

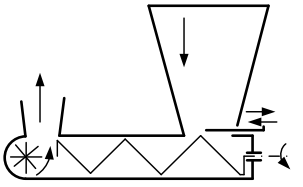


Рисунок 2 - Схема дозатора сыпучих химических консервантов фирмы «Fortschritt»

Для химической обработки скошенных в валки растений нидерландская фирма «Veenhnis» разработала прицепной агрегат для внесения сыпучих химических консервантов [5], принципиальная схема которого приведена на рисунке 3. И в этом агрегате активным рабочим органом является шнек. Регулирование величины подачи (нормы внесения) сыпучих химических консервантов в валок осуществляется изменением площади выходных отверстий.

Общий недостаток шнекового дозатора, как показывает опыт их эксплуатации, заключается в том, что при работе с гигроскопичными материалами, способными реагировать на изменение влажности окружающей среды и образовывать комки, неравномерность подачи (дозирования) достигает 23–27 %.

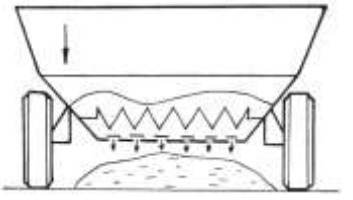


Рисунок 3 - Схема прицепного агрегата для внесения сыпучих химических консервантов в валки скошенных растений (Нидерландская фирма «Veenhnis»)

Привод шнека осуществляется от вала отбора мощности трактора. Для предотвращения образования сводов и организации устойчивой равномерной подачи связных сыпучих материалов из бункеров в шнековых дозаторах применяют различные побудители.

Так, например, французская фирма «Dosavo» разработала достаточно оригинальный дозатор, который существенно улучшает равномерность выдачи сыпучих химических консервантов и других сыпучих материалов. В нем (рисунок 4) использовано совместное действие двух соосных ленточных шнеков разного диаметра, расположенных в нижней части бункера. При этом шнек большего диаметра противодействует образованию сводов в бункере и частично измельчает имеющиеся в объеме сыпучего материала комки.

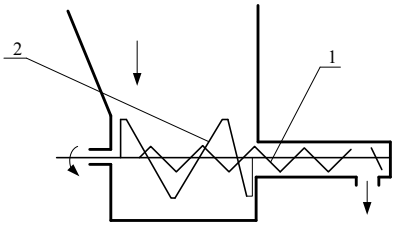


Рисунок 4 - Схема дозатора сыпучих материалов французской фирмы «Dosavo»:
1–шнек меньшего диаметра; 2-шнек большего диаметра.

Равномерность процесса дозирования при применении вышеупомянутого устройства по данным фирмы составляет 2–5 %.

В практике достаточно широкое применение получили тарельчатые дозаторы. На рисунке 5 изображена технологическая схема работы оборудования ОВХ–Ф–3, применяемого при закладке силоса на хранение с использованием сыпучих химических консервантов.

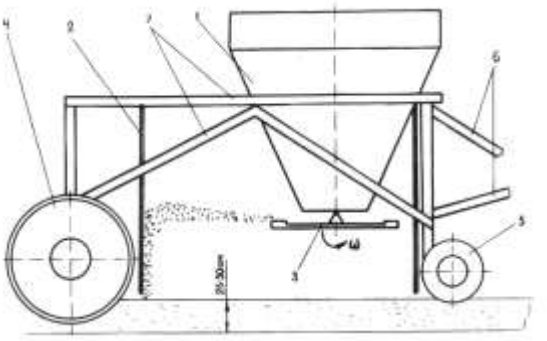


Рисунок 5 - Технологическая схема работы оборудования ОВХ–Ф–3:
1 – бункер для сыпучих химических консервантов; 2 – отбойный щит; 3 – тарельчатый дозатор-разбрасыватель; 4 – разрыхлитель; 5 – опорное колесо; 6 – навесное устройство; 7 – рама.

Для накопления и дозирования сыпучих химических консервантов, таких как бензойная кислота, пиросульфит натрия и других, в составе оборудования используется аппарат для разбрасывания минеральных удобрений НРУ–0,5.

Сыпучий химический консервант из бункера поступает на дозирующе-разбрасывающую тарелку, которая вращается и распределяет указанный консервант в зоне, ограниченной отбойными щитами. После этого разрыхлитель перемешивает силос с сыпучим химическим консервантом.

Проведенные ВНИИМЖем испытания показали высокую неравномерность распределения сыпучих химических консервантов (пиросульфит натрия) в слоях силоса. Так, на глубине 300 мм от поверхности она составляет в среднем ± 44 %, а на глубине 100 мм – ± 18 %.

Тарельчатый дозатор сыпучих химических консервантов венгерской марки «VEDAG–10» (рисунок 6) устанавливается на полевые измельчители при уборке стебельных кормов.

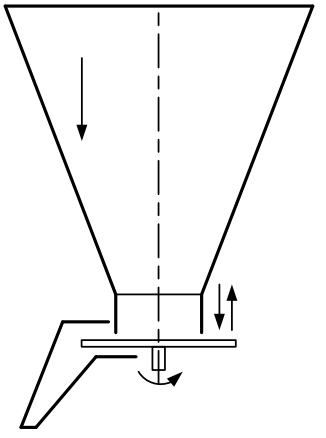


Рисунок 6 - Схема дозатора сыпучих химических консервантов «VEDAG–10».

Рабочим органом этого дозатора является тарельчатый диск, привод которого осуществляется электродвигателем постоянного тока, питающимся от бортовой сети полевого самоходного измельчителя. Регулирование величины подачи сыпучего химического консерванта осуществляется изменением частоты вращения ротора электродвигателя из кабины измельчителя. Одним из условий надежной работы дозатора «VEDAG» является однородность гранулометрического состава сыпучих материалов, а также не склонность к образованию комков.

Опыт применения тарельчатых дозаторов в химической промышленности свидетельствует об их высокой степени точности (погрешность 1–4 %) при дозировании мелкозернистых и порошкообразных сыпучих материалов даже в случае повышенной их влажности и склонности к образованию комков и

сводов в бункерах [6]. Для противодействия образованию сводов тарельчатые дозаторы имеют различные побудители-активаторы, например, такой, который приведен на рисунке 7.

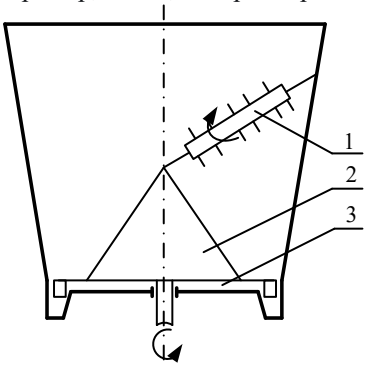


Рисунок 7 - Схема тарельчатого дозатора с побудителем-активатором:
1 – побудитель-активатор; 2 – конус; 3 – тарельчатый диск.

Тарельчатый дозатор немецкой фирмы «DOZZA» (рисунок 8.) имеет спиральный нож для принудительной выгрузки (дозирования) пассивно сыпучих и способных к образованию комков (слеживанию) материалов.
Дозатор имеет горизонтальное дно с центральным выпускным отверстием. Для устойчивого и надежного дозирования над выпускным отверстием установлен конический рассекатель потока. Применение такой конструкции дозатора позволяет равномерно и непрерывно выдавать сыпучий материал по всему поперечному сечению бункера.

Подобный принцип работы у универсального дозатора конструкции ЦНИИМЭСХ, активные рабочие органы которого выполнены по форме спирали Архимеда. По данным исследований неравномерность дозирования составляет 1–2 % для активно сыпучих материалов (гранулированные комбикорма, ячмень стандартной влажности) и 3–5 % для пассивно сыпучих материалов (травяная и хвойная мука).

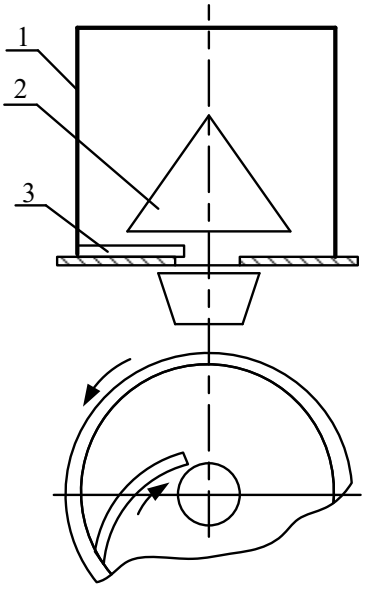


Рисунок 8 - Схема дозатора немецкой фирмы «DOZZA»:
1 – цилиндрический корпус питателя; 2 – конический рассекатель; 3 – спиральный нож.

Опытный образец дозатора сыпучих химических консервантов ДТК–4, принципиальная схема которого приведена на рисунке 9, испытывался на полевом измельчителе КСК–100 при заготовке стебельных кормов.

Активным рабочим органом дозированной подачи пиросульфита натрия в камеру измельчения является барабан. В процессе его работы два сектора (желоба) барабана наполняются сыпучим химическим консервантом, из которых последний высыпается на наклонную плоскость, а с нее направляется в камеру измельчения КСК–100. Необходимую величину подачи консерванта

устанавливают поворотом регулировочного винта, который перемещает пластинки заслонок и боковые ограничители.

Конструкция дозатора УСК–3 с лопастными рабочими органами изображена на рисунке 10. Исследования, проведенные латвийским НИИМСХ, подтвердили его использование в технологической линии заготовки силоса.

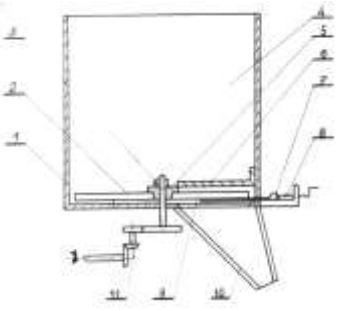


Рисунок 9 - Схема дозатора сыпучих химических консервантов ДТК–4:
1 – бункер; 2 – консервант; 3 – набор пластин; 4 – ограничитель; 5 – корпус дозатора; 6 – звездочка привода дозатора; 7 – нижняя рамка; 8 – лоток; 9 – механизм регулирования величины подачи химического консерванта; 10 – шарнир; 11 – винт стяжной; 12 – цепь; 13- блок звёздочек

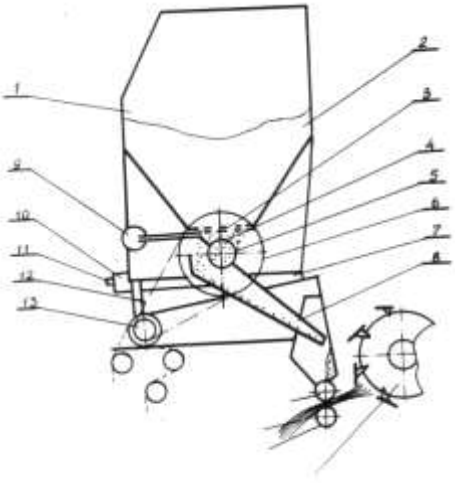


Рисунок 10 - Схема лопастного дозатора сыпучих химических консервантов УСК–3 конструкции латвийского НИИМСХ:
1 – цилиндрический корпус; 2 – лопасть; 3 – приводной вал; 4 – консервант; 5 – ступица; 6 – козырек-ограничитель; 7 – заслонка; 8 – винтовой механизм регулирования положения заслонки; 9 – выгрузное отверстие; 10 – лоток; 11 – привод дозатора.

Дозатор осуществляет подачу химического консерванта непосредственно в измельчающий аппарат полевого измельчителя стебельных кормов. Неравномерность подачи сыпучих химических консервантов по данным исследования составляет 5–8 %. Следует добавить, что надежная работа дозатора может быть только при условии, когда химический консервант обладает хорошими сыпучими свойствами.

На рисунке 11 изображена принципиальная схема дозатора конструкции НИИ животноводства Лесостепи и Полесья Украины, который был применен в линии по заготовке зерностержневой массы кукурузы для внесения сыпучих химических консервантов (углеаммонийных солей). Предварительно измельченные слежавшиеся углеаммонийные соли шнековым транспортером подаются в цилиндрический бункер дозатора с неподвижной решеткой. Просыпанию солей сквозь решетку способствует ножевой побудитель. Далее консервант попадает на лопасти выгрузной звездочки и выводится за пределы дозатора. Отклонение величины подачи сыпучего химического консерванта составляет 8–10 %.

Использование такого дозатора для работы с пассивно сыпучими материалами, к которым относятся слежавшиеся химические консерванты, в линиях заготовки высоковлажных комкующихся материалов требует предварительного их измельчения и загрузки в дозирующее устройство.

В химической и пищевой промышленности с целью интенсификации процесса дозирования пассивно сыпучих материалов применяют вибрацию, которая противодействует образованию сводов.

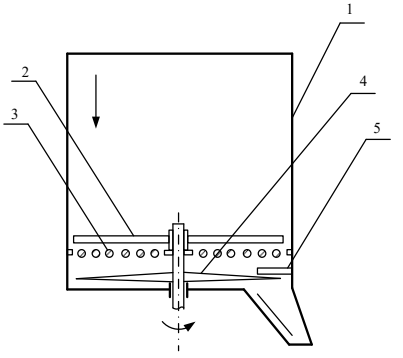


Рисунок 11 - Схема дозатора углеаммонийных солей конструкции НИИ животноводства Лесостепи и Полесья:
1 – корпус; 2 – побудитель; 3 – решетка; 4 – крыльчатка; 5 – заслонка.

Проведенный анализ литературно-технической информации свидетельствует, что в настоящее время разработан и исследован целый ряд технических устройств для выполнения нормированной подачи химических консервантов как в линиях уборки мобильными машинами, так и в стационарных линиях закладки кормов на хранение. Однако они не в полной мере соответствуют зоотехническим требованиям к процессу дозирования сыпучих химических консервантов. Кроме того, большинство конструкций дозаторов пассивно сыпучих и слежавшихся сыпучих материалов, к которым относятся углеаммонийные соли (наилучший консервант для зерностержневой массы початков кукурузы), не отличаются рациональностью использования энергии и материалов. Фактически на сегодня в России еще отсутствуют серийные измельчители-дозаторы сыпучих химических консервантов, что сдерживает широкое внедрение технологии химического консервирования влажного зерна и продуктов его переработки и ведет к потерям кормового сырья в процессе его заготовки и хранения.

Анализ конструкций технических средств для дозирования сыпучих химических консервантов показал целесообразность использования для этого тарельчатого дозатора, который дополнительно включает рабочие органы для измельчения слежавшихся консервантов, таких как углеаммонийные соли и другие, и рабочие органы для питания дозатора подобным (сыпучим) консервантом.

Список используемых источников

1. Солнцев К.И. Разработка технологии консервирования и повышения питательной ценности кормов // Бюл. Науч. работ ВНИИ животноводства. – Дубровицы, 1978. – Вып 7. – С. 37 – 39.

2. Механизация приготовления кормов. Часть 1. Механизация приготовления кормов: Учебное пособие: / С. М. Ведищев, В. П. Капустин, Ю. Е. Глазков [и др.]. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. – 136 с. – ISBN 978-5-8265-1388-0. – EDN ZGKDTB.

3. Механизация животноводства: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / А. В. Брусенков, С. М. Ведищев, А. В. Прохоров [и др.]. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 80 с. – ISBN 978-5-8265-2574-6. – EDN EODPLR.

4. Патент № 2834752 C1 Российская Федерация, МПК G01F 11/00. Шнековый дозатор сыпучих кормов: заявл. 11.07.2024: опубл. 14.02.2025 / А. В. Прохоров, С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет". – EDN MNPDDW.

5. Брижатов Г. Консервирование влажных кормов химическими препаратами. – Интенсификация кормопроизводства Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1980. – С. 90 – 98.

6. Лурье В.М., Анискин В.И., Роджерс М., Фашинг Г. Химические консерванты для сельскохозяйственной продукции // Химизация сельского хозяйства, 1991. – № 5. – С. 66 – 70.

УДК 332.12:338.4

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 1.4 ЗА СЧЕТ АГРЕГАТИРОВАНИЯ ПОДЪЕМНЫМ УСТРОЙСТВОМ СО СМЕННЫМИ АГРЕГАТАМИ

Никишин Сергей Алексеевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: gmy67@yandex.ru

Агропромышленный комплекс в настоящее время является одним из приоритетных направлений в развитии страны при условиях противодействия западным санкциям, вопросам продовольственной безопасности и укрепления сельского хозяйства уделяется большое внимание. Основным локомотивом в данном направлении являются агрохолдинги, но нельзя не отметить весомый вклад мелких сельхоз производителей и крестьянско-фермерские хозяйства (КФХ).

Развитие небольших региональных КФХ обеспечивает продовольственную безопасность в своих регионах, обеспечивая население экологически чистой не дорогой продукцией собственного производства. Но стоит отметить что КФХ работают в условиях: ограниченных материально-технических ресурсов; малых площадей полей и угодий; ограниченных кадровых ресурсов, в связи с чем данным хозяйствам экономически не целесообразно содержать парк узкоспециализированных машин для выполнения каждой технологической операции.

Существующие в настоящий момент комбинированные агрегаты состоят из серийных модулей, установленных на общей раме, данная компоновка ведет к излишней массе, повышенной энергоемкости и снижению качества выполнения отдельных видов операций, особенно на склонах и мало контурных участках.

Для решения большинства производственных операций в КФХ используют навесные фронтальные погрузчики агрегатируемые с легкими колесными тракторами, и это практически единственный вид техники плюс ограниченные возможности у таких хозяйств по хранению разных видов техники.

Решение данной проблемы проводилось на примере КФХ находящегося в поселке Пахарь, Ржаксинского округа, путем внедрения в техпроцессы проходящие в представленном хозяйстве многофункциональной машины для проведения ряда агротехнических работ разработанной на производственном предприятии АО ТЗ «Октябрь», как многофункциональная навесная фронтальная машина для проведения ряда агротехнических работ, для колесных тракторов тягового класса 1.4 (по ГОСТ 27021), (например, МТЗ-82 – так как он является более распространенным в организациях РФ), обеспечивающая снижение расходов на приобретение и быструю сменяемость сменных агрегатов, уменьшение территории для хранения агрегатов. В результате количество выполняемых видов работ одной единицей техники значительно возрастает, снижается необходимость в приобретении дополнительных единиц спецтехники.

Представленные сейчас на рынке фронтальные погрузчики не ориентированы на проведение сельскохозяйственных работ, а лишь являются погрузочной техникой, имеющей в своем арсенале ковш и максимум пару агрегатов (не все являются быстросъемными).

Целью разработки многофункциональной машины для проведения ряда агротехнических работ послужило изготовление бюджетной многофункциональной навесной машины с оптимальными техническими характеристиками, которая при помощи дополнительных быстросъемных агрегатов сможет выполнять большой спектр работ, в крестьянско-фермерских хозяйствах значительно экономя время и место под хранение агрегатов своему владельцу.

Основными критериями при проектировании машины является ее универсальность и быстросъемность, простота и надежность конструкции не высокая стоимость при изготовлении.

Конструкция многофункциональной машины для проведения ряда агротехнических работ была спроектирована с учетом недостатков (слабых мест), представленных на рынке фронтальных погрузчиков.

Для быстросъемных погрузчиков очень важным элементом является место и способ соединения опорных кронштейнов с подъемным механизмом. В некоторых моделях это место под нагрузками быстро изнашивается, что приводит к рассоединению механизмов крепления во время максимальных нагрузок при работе погрузчика.

Подъемный механизм многофункциональной машины описан в патенте на полезную модель RU 230907 от 24.12.2024 г., представлен как фронтальное быстросъемное подъемное устройство, входящее в состав многофункциональной машины для проведения агротехнических работ.

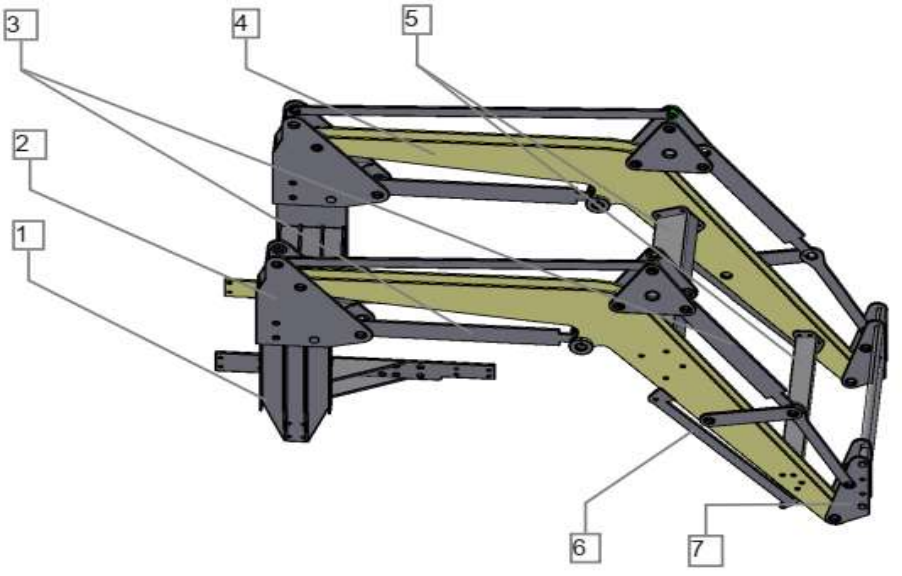


Рисунок 1 - Фронтальное быстросъемное подъемное устройство, входящее в состав многофункциональной машины для проведения агротехнических работ, вид сбоку

Фронтальное быстросъемное подъемное устройство состоит из опорных кронштейнов (1), крепящихся к лонжеронам трактора соединенных между собой нижней распоркой кронштейнов (11), для жесткой фиксации механизма и уменьшения боковых нагрузок на раму трактора, форма кронштейна изготовлена так, чтобы был свободный доступ к двигателю трактора. Верхняя часть опорного кронштейна сделана в форме ловителя и имеет в начале более расширенную часть далее сужается, для сопряжения с осью кронштейна механизма подъема, осуществляет максимальный контакт с кронштейном механизма подъема и фиксируется двумя осями через болтовое соединение. Два коромысла подъемного механизма (4) выполненные из толстолистовой углеродистой стали с вваренными внутрь втулками, скрепленные параллельно распорками (5) для уменьшения боковых нагрузок и исключения раскачивания при подъеме груза. Гидроцилиндры (3) подъема механизма и опрокидывания рабочего органа с механизмом плоскопараллельного перемещения, кронштейнов быстросъемного механизма подъема (2), соединенных между собой через болтовые соединения верхней распоркой кронштейнов (10), для жесткой фиксации кронштейнов и уменьшения боковых нагрузок конструкцию, кронштейна быстросъемного механизма для сменных агрегатов (7) имеющего две зоны фиксации сменного агрегата, это оси для навешивания крючкообразного зацепа находящегося на кронштейне агрегата и отверстия в планках кронштейна быстросъемного механизма для жесткой фиксации навесного агрегата фиксирующими осями, опорных подставок (6).

Монтаж подъемного устройства осуществляется следующим образом.

Трактор с прикрепленными с двух сторон к лонжеронам опорными кронштейнами (1) соединенными между собой нижней распоркой кронштейнов (11), подъезжает к установленному на ровной земляной или бетонной поверхности подъемному устройству. Подъемное устройство опирается на поверхность опорными подставками (6) и рабочим органом (ковш для сыпучих материалов или др.), присоединенным к кронштейну быстросъемного механизма для сменных агрегатов (7).

Верхняя часть опорных кронштейнов (1) сделана в форме ловителя и имеет в начале более расширенную часть далее сужается, для сопряжения с осью кронштейна механизма подъема, вваренная ось в кронштейн быстросъемного механизма подъема (2) входит в ловитель до упора, после этого остается механизатору установить фиксирующие оси, по 2 штуки на каждую сторону.

Затем устанавливается верхняя распорка кронштейнов (10), осуществляется подключение гидроцилиндров (3) при помощи гидравлических рукавов высокого давления.

Демонтаж осуществляется в обратном порядке.

Конструкция фронтального быстросъемного подъемного устройства обеспечивает быстрый демонтаж данного оборудования, что снижает нагрузки на раму трактора и переднюю ось во время выполнения других видов работ.

Подъемное устройство спроектировано так чтобы его можно было использовать с разными моделями колесных тракторов тягового класса 1,4 (по ГОСТ 27021), заменой нескольких элементов конструкции (можно изменить ширину подъемного устройства и изменить место крепления к

лонжерону трактора в соответствии с маркой трактора). Основные элементы устройства изготовлены отдельными узлами и скрепляются в единый каркас через болтовые соединения. Данное исполнение придает устройству большую универсальность по сравнению с другими погрузчиками. Вращающиеся оси, соединяющие элементы устройства снабжены устройствами для смазки, что значительно увеличивает срок их службы.

Технические характеристики многофункциональной машины представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики многофункциональной машины

Наименование показателя	Значение показателя
1. Тип	Навесной
2. Навеска	Фронтальная
3. Агрегатируется с тракторами	МТЗ-80, МТЗ-82, 82.1, МТЗ-952.2,
4. Привод	От гидросистемы трактора
5. Производительность за час основной работы, при погрузке сыпучих грузов ковшом вместимостью 0,65 м^3 с поверхности земли или бурта, до	68
6. Ширина захвата ковша, мм:	2000
7. Номинальная грузоподъёмность, кН (кгс)	15(1500)
8. Отрывное усилие при давлении в гидросистеме 16 мПа (160 кгс/см2), гидроцилиндры подъема, не менее, кН(тс)	20(2)
9. Рабочая скорость (с грузом), км/ч, до	6
10. Транспортная скорость (без груза), км/ч, до	16
11. Высота подъёма до оси вращения рабочего органа, м	3,65
12. Угол разгрузки ковша в верхнем положении, град, не менее	61 ± 5
13. Трудоемкость монтажа первичной сборки, ч	6
14. Трудоемкость монтажа и демонтажа ММНС – 1.5 на подготовленный трактор (навешивание), ч	0,15
15. Количество обслуживающего персонала (тракторист)	1
16. Масса ММНС – 1.5, (без рабочих органов) кг, не более	602 ± 10
17. Габаритные размеры ММНС – 1.5 с навешенным ковшом 0,65м^3 + трактор МТЗ -82, мм: - длина - ширина - высота	 5480 ± 50 2000 ± 10 2940 ± 50
18. Удельная трудоёмкость ремонтов, ч	0,01
19. Удельная оперативная трудоёмкость техобслуживания ч	0,011
20. Установленная безотказная наработка, ч	75

Конструкция стрелы подъёмного механизма многофункциональной машины должна отвечать двум основным группам требований. Во-первых, это геометрические параметры, в частности предельная высота подъёма, определяющая возможности погрузки и выполнения технологических операций. Во-вторых, не менее важным является обеспечение корректной работы механизмов плоскопараллельного перемещения. Данные механизмы позволяют сохранять заданную ориентацию рабочего органа (например, ковша, захвата или отвала) при любом угле подъёма стрелы.

Расчет стрелы на прочность показал: что конструкция изготовлена с запасом прочности ≈ 1,5.

При толщине основного металла 8 мм, плечо = 1207 мм, места крепления гидроцилиндров усиленные.

Вес груза с ковшом (эксплуатационная масса):

$$Q = 1500 \text{ кг} = 14715 \text{ Н}$$

(округлим до 15000 Н для запаса).

Расстояние от оси шарнира стрелы до центра масс ковша с грузом: L = 3000 мм. Плечо от оси опоры стрелы до оси гидроцилиндра: A = 1207 мм.

Расчет на прочность:

$$F * A = P * L;$$
$$F = \frac{P*L}{A} = \frac{15000\ H*3000\ мм}{1207\ мм} = \frac{45000000}{1207} \approx 37282\ H.$$

Переведем в тонно-силы (тс): *37282/9810 ≈ 3,8 тс.*

Реакция в опореО(шарнире стрелы). Поскольку направления сил параллельны (вес и усилие цилиндра), реакция опоры:

$$Ro = F – P = 37282 – 15000 = 22282\ H\ (\approx 2,27\ тс).$$

Расчет момента сопротивления *(W)* для коробчатого сечения:

$$W_x = \frac{B*H^3 - b*h^3}{6*H},$$

где $b = B – 2t$= 70 – 16 = 54 мм, $h = H – 2t$ = 200 – 16 = 184 мм.

$$W_x = \frac{70*200^3 - 54*184^3}{6*200} = \frac{70*8000000 - 54*6229504}{1200} = \frac{560000000 - 336393216}{1200} =$$

$$= \frac{223606784}{1200} = 186338\ мм^3.$$

$$W_x \approx 186\ см^3.$$

Максимальный изгибающий момент в стреле. Опасное сечение находится в районе точки *B* (крепление гидроцилиндра) или чуть дальше к опоре *O*. Рассмотрим момент в сечении сразу за точкой *B* (ближе к опоре):

$$M_{max} = P * (L – A) = 15000Н * (3000 – 1207)\ мм,$$
$$M_{max} = 15000 * 1793 = 26895000\ Н*мм.$$

Напряжение изгиба:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{26895000}{186338} = 144\ МПа.$$

Для стали 09Г2С ([σ] ≈ 230 МПа): 144 < 230 – прочность обеспечена с запасом ≈ 1,59.

Важным дополнением для фронтального погрузчика являются быстросъемные агрегаты, предназначенные для выполнения различных видов работ, которые можно без усилий установить на специализированное крепление.

Для многофункциональной машины для проведения агротехнических работ специально спроектирован ряд сменных рабочих органов, дополнительно ведется разработка и проектирование новых агрегатов для увеличения спектра охватываемых работ в крестьянско-фермерском хозяйстве. В таблице 2, представлен ряд сменных рабочих органов, разработанных для многофункциональной машины.

Таблица 2

Сменные рабочие агрегаты для многофункциональной машины

Наименование рабочего органа	Этап разработки
ковш для сыпучих материалов	испытан
челюстной ковш	проект
пика для рулонов	испытан
вилы грузовые для затаривания грузов	проект
бульдозерный отвал	испытан
вилы для силоса с прижимной решеткой	проект
кантователь (захват для рулонов)	испытан
грузоподъемное устройство	испытан
фреза для пней	проект
бур	проект
фронтальная роторная косилка	проект
люлька для сбора плодовых культур	проект

Наиболее распространенным агрегатом для фронтального погрузчика является ковш для сыпучих грузов. Для многофункциональной машины разработан ковш для сыпучих грузов – вместимостью 0,65 $м^3$



Рисунок 2 – Процесс сборки ковша для сыпучих грузов

Данный агрегат разработан для подбора, транспортирования, погрузки и скирдования рулонов сена и соломы. Каркас агрегата изготовлен из толстолистовой углеродистой стали, пика изготовлена из круга сталь 45 диаметром 60 мм.



Рисунок 3 – Пика для рулонов

Грузоподъемное устройство для погрузки различных штучных грузов, монтажа и демонтажа тяжелых узлов, собираемых и ремонтируемых сельскохозяйственных машин, мешков с удобрениями. Суммарная длина данного агрегата позволяет зацепить груз на удаленности 3 метра от трактора, максимальная высота подъема груза 4,5 метра. Конструкция агрегата выполнена из углеродистой стали толщиной 6 миллиметра, с усилениями и ребрами жесткости.



Рисунок 4 – Грузоподъемный механизм в работе

Кантователь (захват для рулонов) предназначен для подбора рулонов сена и погрузки их в транспортные средства, разгрузки и укладывания рулонов в местах хранения. Конструкция агрегата выполнена из углеродистой стали толщиной 6 миллиметров, отверстия подвижных элементов усиленны втулками.



Рисунок 5 – Грузоподъемный механизм в работе

Грейдерный отвал. Конструкция агрегата позволяет выполнять следующие операции:

- очищение полотна дороги от снега. Касается это не только городских покрытий, но и различных площадок, транспортных магистралей и пр.;
- выполнение дорожного основания;
- планирование рельефа;
- формирование полотна земли;
- организация снегозадержания.

позволяет менять угол поворота отвала на 30 градусов в обе стороны. Основные элементы отвала выполнены из углеродистой стали толщиной 4 миллиметра, нож сделан из углеродистой стали толщиной 10 миллиметров. Ширина отвала составляет 2,5 метра, в повернутом состоянии, рабочая зона составляет 2,2 метра.

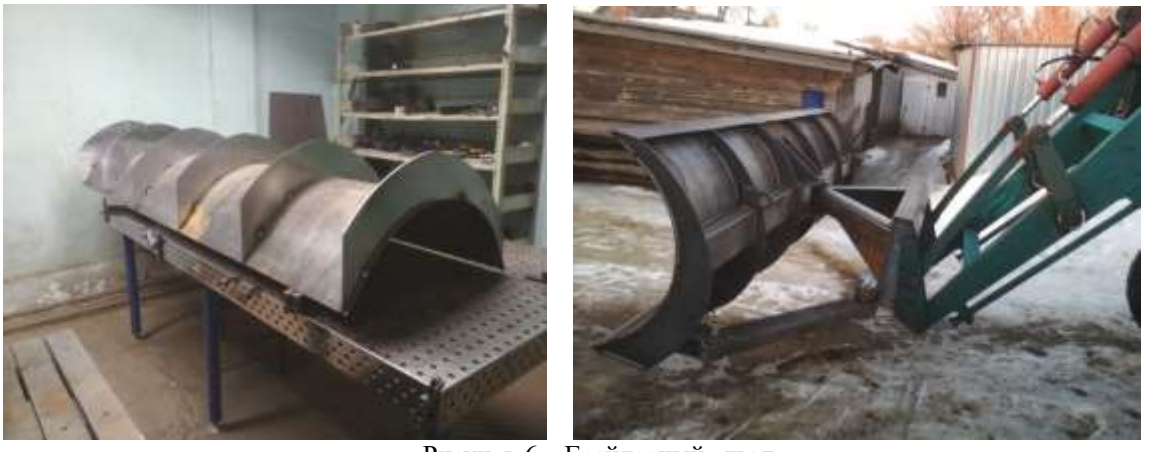


Рисунок 6 – Грейдерный отвал

Список использованных источников

1. Быстросъемная система фронтального монтажа различных агрегатов на трактор тягового класса 1,4 / С. А. Никишин, К. В. Немтинов, М. В. Жарикова, В. А. Немтинов // Наука в центральной России. – 2026. – № 2(80). – С. 68-77. – DOI 10.35887/2305-2538-2026-2-68-77. – EDN STRUMQ.
2. Системный анализ проектно-технологических решений конструкций многофункциональных машин для агротехнических работ / К. В. Немтинов, М. А. Ерусланова, С. А. Никишин, В.А. Немтинов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2026. (Принята к публикации).
3. Патент № 2857353 C1 Российская Федерация, МПК A01D 34/03. Фронтальная роторная косилка, входящая в состав многофункциональной машины для проведения агротехнических работ : заявл. 10.06.2025 : опубл. 02.03.2026 / С. А. Никишин, К. В. Немтинов, В. А. Немтинов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет". – EDN ZVXQBY.
4. Патент на полезную модель № 230907 U1 Российская Федерация, МПК A01D 87/00, A01D 87/12. Фронтальное быстросъемное подъемное устройство, входящее в состав многофункциональной машины для проведения агротехнических работ : заявл. 27.06.2024 : опубл. 24.12.2024 / С. А. Никишин, К. В. Немтинов, В. А. Немтинов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет".
5. Никишин, С. А. Навесная многофункциональная машина - лучший помощник в фермерском хозяйстве / С. А. Никишин, В. А. Немтинов // Новые технологии при использовании техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве : Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 01–02 октября 2025 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2025. – С. 137-140. – EDN EVJTHA.
6. Никишин, С. А. Разработка системы контроля фронтального погрузчика / С. А. Никишин, К. В. Немтинов // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей: в 3-х томах, Тамбов, 23–25 октября 2024 года. Том II. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. – С. 228-231. – EDN WDHKTG..
7. Никишин, С. А. Разработка агрегата – ковша для сыпучих материалов многофункциональной навесной машины для выполнения агротехнических работ в крестьянско-фермерских хозяйствах / С. А. Никишин, В. А. Немтинов, С. М. Ведищев // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Материалы IX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 24–25 октября 2023 года. Том Выпуск 9. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2023. – С. 234-237. – EDN DUDHZU..
8. Никишин, С. А. Усовершенствование конструкции многофункционального агрегата для проведения агротехнических работ / С. А. Никишин, К. В. Немтинов // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции : Сборник статей II Международной научно-практической конференции в рамках международного научно-практического форума, посвященного Дню Хлеба и соли, Саратов, 24–25 марта 2021 года / Под общей редакцией О.М. Поповой, Н.В. Неповинных, В.А. Буховец. – Саратов: ООО "Центр социальных агроинноваций СГАУ", 2021. – С. 672-677. – EDN PVFETO.
9. Nikishin, S. A. Changing the approach in the construction of a mounted machine for agro-technical works / S. A. Nikishin, V. A. Nemtinov // The World of Science without Borders : Proceedings of the 11th all-Russian Scientific and Practical Conference for Young Researchers with International Participation, Tambov, 26 апреля 2024 года. – Tambov: Tambov State Technical University, 2024. – P. 100-102. – EDN NFKIZL

УДК 66.022.54
61.13.23: Механические процессы в химической технологии

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМЕШИВАНИЯ СУХИХ РАССЫПНЫХ ТЕРМОСМЕСЕЙ

Обляк Виктор Викторович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: oblyak.vitya@yandex.ru

Ведищев Сергей Михайлович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агроинженерия»
e-mail: serg666_65@mail.ru

В настоящее время в химической, пищевой, фармацевтической и строительной промышленности одной из наиболее актуальных задач является получение многокомпонентных смесей сыпучих материалов стабильного состава и высокого качества. Особую сложность представляют так называемые термосмеси — композиции, содержащие термочувствительные компоненты, такие как полимерные связующие, катализаторы, красители или биологически активные добавки [1].

Ключевой проблемой в этой области является сочетание двух противоречивых требований. С одной стороны, для достижения высокой однородности необходима интенсивная механическая обработка. С другой стороны, любое интенсивное механическое воздействие неизбежно преобразуется в тепловую энергию, что для термочувствительных материалов может привести к их деструкции, преждевременной полимеризации или потере функциональных свойств [2]. Организация процесса смешивания является одним из главных факторов, влияющих на качество получаемой продукции. В связи с этим разработка и совершенствование щадящих, но при этом высокоэффективных методов смешивания является приоритетной научно-технической задачей.

Классификация смесительного оборудования

Для смешивания сухих сыпучих материалов применяется широкий спектр оборудования, которое можно классифицировать по нескольким ключевым признакам (табл. 1) [3]. По принципу действия смесители делятся на аппараты периодического и непрерывного действия. По механизму процесса выделяют устройства циркуляционного, объемного и гравитационного (диффузионного) смешивания.

Таблица 1

Сравнительная характеристика смесителей для сухих термосмесей

Тип смесителя	Принцип действия	Достижимый $\nu_{см}$, %	Риск перегрева	Преимущества для термосмесей
Гравитационные (V-образные, биконусные)	Свободное пересыпание компонентов под действием силы тяжести	2-4	Низкий	Минимальное механическое воздействие, сохранность гранул
Лопастные и шнековые	Активное перемешивание с помощью вращающихся рабочих органов	1-3	Высокий	Высокая интенсивность и производительность
Планетарно-шнековые	Вращение шнека вокруг собственной оси и вокруг оси аппарата	1-2	Умеренный	Эффективное смешивание компонентов с разной сыпучестью
Каскадные гравитационные	Многократное пересыпание с разрыхлением потока на ряде элементов	1-3	Низкий	Отсутствие движущихся частей, малые затраты энергии, низкая сегрегация
Центробежные	Механическое псевдоожижение за счет высокоскоростного вращения	1-2	Высокий	Очень короткое время цикла (5-15 минут)

Циркуляционные смесители, к которым относятся планетарно-шнековые и центробежно-лопастные аппараты, обеспечивают замкнутую циркуляцию материала по внутреннему объему, что способствует быстрому усреднению. В аппаратах объемного смешения рабочие органы (спирали, лопасти, плужники) перемещают материал по всему объему, обеспечивая конвективный массоперенос. Гравитационные смесители используют для перемешивания силу тяжести, что делает их наиболее щадящими для термочувствительных материалов, однако такой подход сопряжен с риском сегрегации, а также они имеют невысокую производительность.

Критерии оценки качества смешивания

Качество смеси является ключевым показателем эффективности технологического процесса [4]. Для его количественной оценки наиболее широко применяется коэффициент неоднородности $\nu_{см}$. Этот коэффициент характеризует среднее квадратичное отклонение концентрации ключевого компонента в отобранных пробах от её среднего значения.

Практикой установлено, что для смесей отличного качества значение $\nu_{см}$ составляет 1-2,5%. Если же $\nu_{см}$, превышает 6%, смесь считается некачественной и не соответствует технологическим требованиям. Важно отметить, что кинетика процесса смешивания имеет экспоненциальный характер: $\nu_{см}$ быстро снижается при увеличении времени смешивания, но затем асимптотически приближается к своему предельному значению $\nu_{см}$, (рис. 1). После достижения точки $\nu_{см}$, (оптимального времени смешивания) дальнейшая механическое воздействие на компоненты смеси не только не улучшает однородность, но и может быть опасна из-за риска термодеструкции, так как скорости смешивания и сегрегации становятся равными.

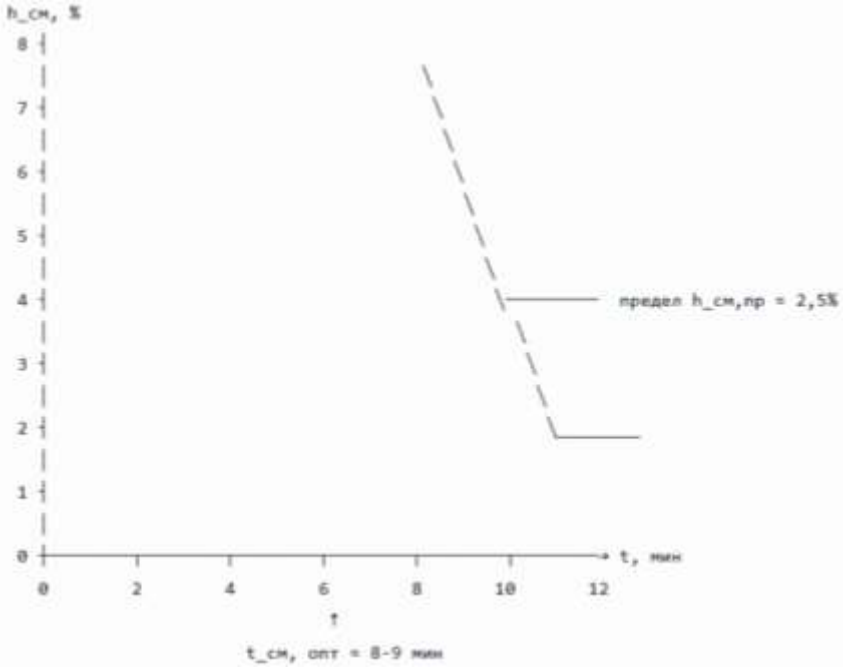


Рисунок 1 – Типовая кинетическая кривая процесса смешивания сухой термосмеси

Математическое моделирование как инструмент совершенствования

Традиционные методы проектирования смесителей, основанные на эмпирических данных, не всегда позволяют предсказать поведение новых многокомпонентных смесей, особенно склонных к сегрегации или чувствительных к нагреву. Для решения этой задачи все шире применяются методы компьютерного моделирования.

Наиболее перспективным инструментом является **метод дискретных элементов (DEM)**. Этот метод позволяет смоделировать поведение каждой отдельной частицы, учитывая её форму, размер, свойства поверхности и взаимодействие с другими частицами и стенками оборудования. С помощью специализированных программных пакетов, таких как **Rocky DEM** (Ansys) и **AltairEDEM**, исследователи могут получать графические зависимости характеристик взаимодействия частиц и визуализировать распределение температурных полей.

Rocky DEM позволяет с высокой точностью моделировать как кондуктивный, так и конвективный теплообмен, что критически важно при работе с термосмесями [5]. Кроме того, этот инструмент дает возможность оптимизировать конструкцию смесителя, масштабировать процесс от лабораторной до

промышленной установки и значительно сократить время цикла за счет повышения эффективности смешивания. Такой подход позволяет заранее выявить зоны застоя, предсказать степень сегрегации и определить оптимальные параметры процесса без риска повреждения дорогостоящего или чувствительного сырья.

Пути совершенствования процесса смешивания

На основе анализа теоретических и экспериментальных данных можно выделить несколько ключевых направлений для совершенствования процессов смешивания термосмесей.

Наиболее перспективными являются способы и конструктивные решения, позволяющие увеличить турбулизацию и циркуляцию потоков смешиваемых материалов. К ним относится каскадный гравитационный смеситель, состоящий из ряда пересыпных воронок с установленными между ними разрыхлителями. В такой конструкции достигается интенсивное взаимопроникновение частиц и их однородное объемное распределение при полном отсутствии движущихся частей в зоне смешивания и минимальном энергопотреблении.

Другим эффективным решением, особенно для смесей с компонентами, резко различающимися по свойствам, является **нонмиксер** или детерминированное смешивание. При этом подходе компоненты подаются дискретными микродозами или тонкоструйными потоками, что позволяет увеличить скорость смешивания и исключить нагрев за счет трения. В качестве инструмента интенсификации также зарекомендовало себя создание **псевдоожиженного слоя** с помощью вибрации и пульсирующих газовых потоков, что обеспечивает эффективное перемешивание без жесткого механического воздействия.

Наконец, важным направлением является автоматизация контроля. Применение датчиков температуры в рабочей зоне и систем онлайн-отбора проб для экспресс-анализа с использованием компьютерного зрения позволяет точно определять момент достижения оптимальной однородности и прекращать процесс смешивания, предотвращая тем самым деструкцию термочувствительных компонентов.

Совершенствование процессов смешивания сухих рассыпных термосмесей представляет собой комплексную научно-техническую задачу, решение которой лежит на стыке разработки новых конструкций оборудования, внедрения методов цифрового моделирования и прецизионного контроля. Основной акцент в развитии технологий смешивания должен быть сделан на создании аппаратов с низким энерговкладом, таких как каскадные гравитационные смесители и вибрационные установки, которые обеспечивают требуемую гомогенизацию без риска перегрева. Использование метода дискретных элементов на этапе проектирования позволяет значительно сократить время и стоимость разработки, а также создать оборудование, оптимизированное под конкретные свойства термочувствительных материалов. Дальнейшее развитие отрасли будет связано с созданием интеллектуальных производственных систем, способных адаптировать параметры смешивания в реальном времени для каждой партии сырья, обеспечивая неизменно высокое качество конечного продукта.

Список использованных источников

1. Борщев В.Я., Сухорукова Т.А. Current Status and Development of Production Technologies of Multicomponent Mixtures of Bulk Materials in Large Volumes // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2018. №1. С. 069-077. DOI:10.17277/amt.2018.01.pp.069-077.
2. Бойко И.Г. Интенсификации процессов смешивания сыпучих материалов // Опыт, проблемы и перспективы развития технического сервиса в АПК. Минск: БГАТУ, 2009. С. 151-157.
3. Лапина В.А. Возможная классификация устройств для производства смесей сыпучих материалов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. №2. С. 100-106.
4. Статья «Смешение» // Химическая энциклопедия. – Режим доступа: http://www.chemport.ru (дата обращения: 28.04.2026). – См. раздел «Кинетика смешивания», рис. 3.
5. Официальный сайт Rocky DEM. – Режим доступа: http://www.rockydem.ru (дата обращения: 28.04.2026).

УДК 631.356.4:633.63
ББК 40.72 + 42.356

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ЦЕНТРАЛЬНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ И ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ В 1998–2024 гг.

Павлов Анатолий Григорьевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.с.х.н., доцент, кафедры «Агроинженерия»
e-mail: apavlovv@rambler.ru

Прохоров Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: pav1981@bk.ru

Пруцков Александр Анатольевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
prutskov.sascha.1983@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты анализа динамики посевных площадей, валовых сборов, урожайности сахарной свеклы и обеспеченности свеклоуборочной техникой в Российской Федерации, Центральном федеральном округе и Тамбовской области за период 1998–2024 гг. На основе официальных данных Росстата выполнен сравнительный анализ ключевых показателей, выявлены тенденции роста урожайности и концентрации производства на фоне сокращения парка свеклоуборочных машин. Показано, что сложившийся дисбаланс между объёмами производства и техническим обеспечением уборки обуславливает необходимость модернизации отечественных свеклоуборочных машин и развития национальной линейки высокопроизводительной техники.

Ключевые слова: сахарная свекла, посевные площади, валовой сбор, урожайность, Тамбовская область, ЦФО.

Сахарная свекла является важнейшей технической культурой и единственным отечественным сырьём для производства сахара. Рост площадей посева сахарной свеклы, урожайности, а следовательно и валовых сборов напрямую влияет на требования к производительности, надёжности и технологической адаптивности свеклоуборочных машин.

Исследование выполнено на основе официальных данных Росстата за 1998–2024 гг [1-14] . Для анализа использованы методы динамических рядов, абсолютных и относительных приростов, а также сравнительный анализ по трём уровням: Российская Федерация, Центральный федеральный округ и Тамбовская область.

Анализ официальных данных показывает устойчивую положительную динамику посевных площадей, урожайности и валовых сборов сахарной свеклы в 1998–2024 гг, см. таблицу 1 и рисунки 1-3.

Таблица 1

Показатели возделывания сахарной свеклы в 1998–2024 гг.

годы	Посевные площади. тыс. га			Валовые сборы, тыс. ц.			Урожайность ц/га			Свеклоуборочные машины, шт		
	РФ	ЦФО	Тамбовская область	РФ	ЦФО	Тамбовская область	РФ	ЦФО	Тамбовская область	РФ	ЦФО	Тамбовская область

2008 г.	2007 г.	2006 г.	2005 г.	2004 г.	2003 г.	2002 г.	2001 г.	2000 г.	1999 г.	1998 г.
818,37	1059,42	996,26	799,12	848,55	923,19	808,49	772,55	805,46	900,07	809,99
417,54	543,99	509,65	392,89	431,66	508,19	434,09	409,98	424,10	441,99	417,59
70,18	93,75	89,98	61,08	63,06	67,41	61,91	55,54	57,36	57,10	50,84
289841,25	288318,65	306728,73	212755,33	218093,90	193553,16	156588,31	145526,76	140508,68	152259,12	107961,82
152470,09	161811,86	163370,96	108596,95	103884,51	116193,51	81084,60	75579,10	74803,58	73693,80	58847,35
27581,55	26353,30	27486,35	16297,52	12891,45	15102,65	9228,22	9199,41	7843,27	9793,52	6219,41
362,40	292	325,39	282,30	276,50	227,20	219,20	198,90	188,30	185	133,29
374,70	321,90	344,10	292,50	259,29	244,49	217	195,70	189,30	180,70	152,10
394,70	303,70	338,70	274,09	228	236	219,70	180,60	150,80	184,40	122,38
4245,99	5261	6204	7172	8468	9567	10620	11583,99	12529	13550,99	15395,99
2273	2855	3437	3993	4841	5452	6004	6515	7067	7701	8805
483	550	614	656	727	787	752	764	808	855	938

2019 г.	2018 г.	2017 г.	2016 г.	2015 г.	2014 г.	2013 г.	2012 г.	2011 г.	2010 г.	2009 г.
1144,94	1126,65	1198,14	1106,83	1020,68	917,36	902,62	1142,06	1291,04	1159,30	817,51
612,66	604,16	650,37	609,34	561,97	510,86	498,55	628,07	702,15	620,04	439,75
112,49	105,43	116,38	102,45	98,53	85,80	87,23	110,78	128,59	109,10	74,59
543501,15	420659,57	519134,41	513249,52	389888,09	334756,55	392919,90	450308,15	476093,54	222411,41	248628,77
296161,17	239689,09	284593,82	284233,95	217028,31	180255,85	219490,86	263624,75	272841,18	101630,48	137899,70
51055,03	39658,63	51078,68	45061,73	41875,29	31228,58	43826,41	43044,32	50934,89	19058,62	23540,97
479,60	380,60	442,10	470,40	387,80	370,10	442,10	408,90	391,70	240,70	323,20
486,40	400,70	444,60	469,90	391,29	355	444,70	430,80	407,29	204,10	323,90
457,20	377,90	444,70	448,40	429,20	364,40	504,70	396,80	436,60	195,50	327,20
2055	2100	2183,99	2224	2214	2355	2541,99	2808	3046	3242	3606
1070	1124	1160	1177	1180	1244	1369	1521	1646	1754	1941
195	210	225	223	229	246	266	296	312	323	385

2020 г.	926	503,39	93,78	339150,85	184045,25	32146,67	370	370,10	351,70	1947	1012	184
2021 г.	1003,52	534,98	97,920	412016,68	209915,302	40598,46	414,60	393,60	414,90	1874	901	162
2022	1 027,2	554,7	104,7	489 077,5	261 037,8	45 489,2	486,8	486,0	467,7	1824	841	159
2023	1 063,5	559,9	106,8	531 372,0	304 623,0	59 473,5	504,7	548,4	559,2	1921	931	171
2024	1 168,8	612,6	116,7	451 157,2	241 149,1	45 898,6	391,6	401,3	394,6	1896	963	174

Анализ временного ряда за 1998–2024 гг. показывает разнонаправленную динамику посевных площадей сахарной свеклы в Российской Федерации, Центральном федеральном округе и Тамбовской области. В начале рассматриваемого периода площади в РФ и ЦФО находились на уровне 800–900 тыс. га и 400–450 тыс. га соответственно, затем проходили через фазу снижения и повторного роста, а к 2021–2024 гг. вновь достигли и превысили значения начала 2000-х годов. В Тамбовской области посевные площади колебались в более узком диапазоне, однако к 2024 г. также наблюдается их увеличение по сравнению с 1998–2000 гг., что подтверждается данными таблицы 1 и диаграммы на рисунке 1.



Рисунок 1 –Посевные площади, сахарной свеклы в 1998–2024 гг, тыс. га.

Рост урожайности является ключевым фактором увеличения валовых сборов сахарной свеклы во

всех трёх анализируемых уровнях. Если в конце 1990-х годов средняя урожайность в РФ и ЦФО составляла порядка 130–200 ц/га, то в 2010-е годы она стабилизировалась на уровне 300–400 ц/га, а в отдельные годы 2020-х превышала 450–500 ц/га, что особенно заметно по данным за 2022–2024 гг. В Тамбовской области динамика урожайности в целом соответствует общероссийским и окружным тенденциям, при этом в отдельные годы регион демонстрирует значения, близкие к максимальным по ЦФО, что отражено на рисунках 2 и 3. [1-5,13].

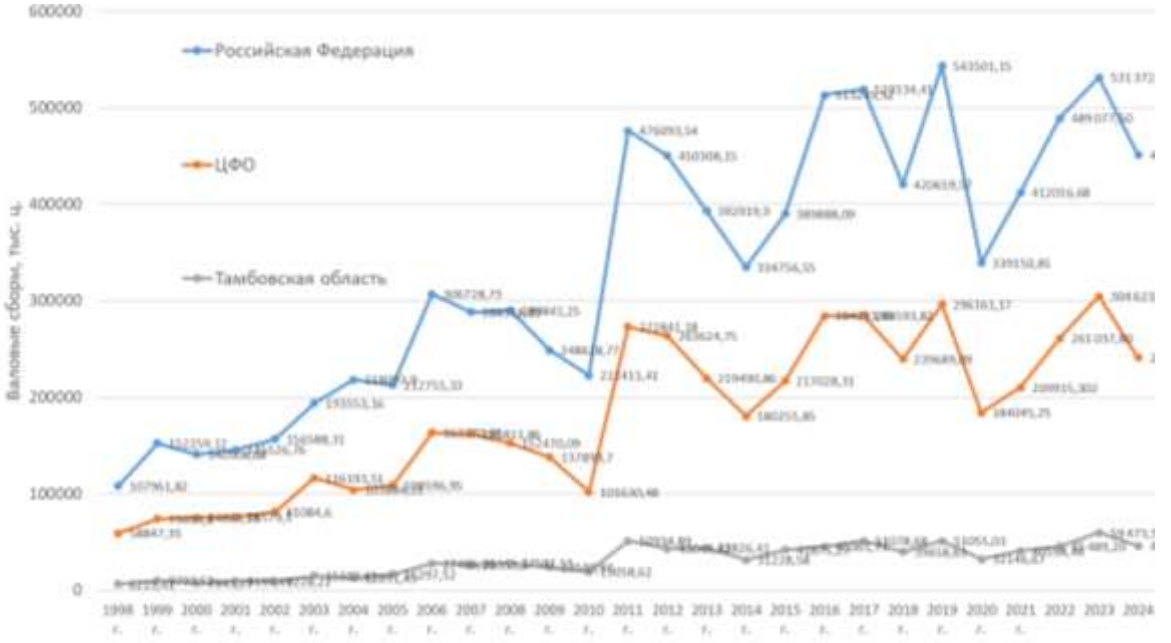
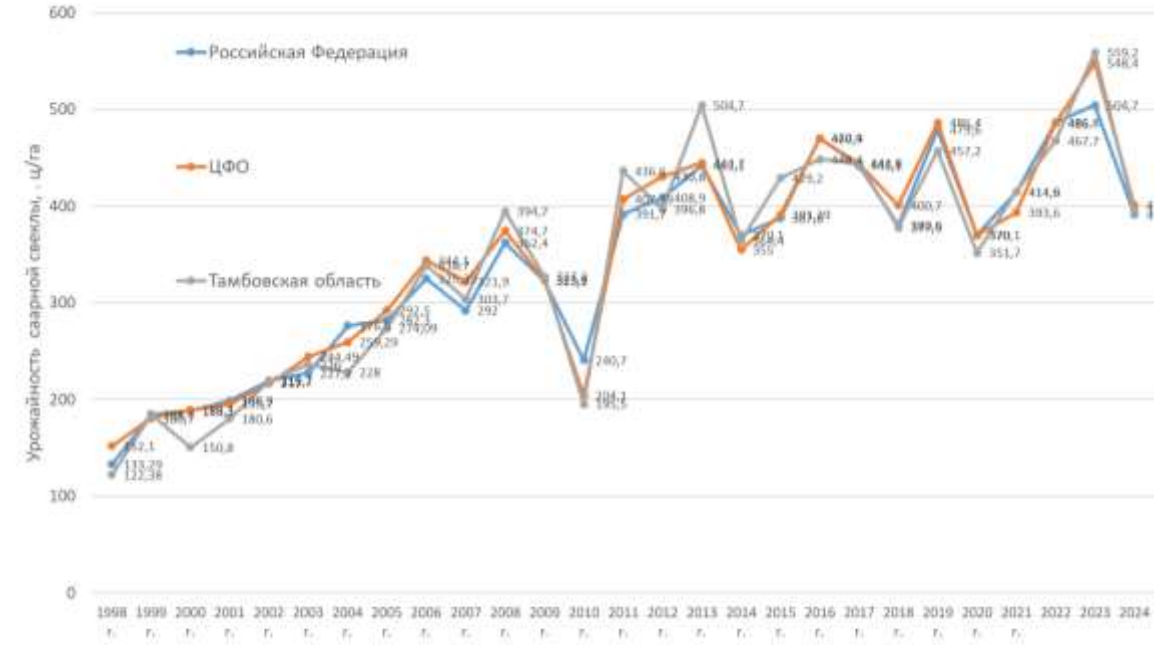


Рисунок 2 – Валовой сбор и урожайность сахарной свеклы в 1998–2024 гг.



,

Рисунок 3– Урожайность сахарной свеклы в 1998–2024 гг.

Сочетание выросшей урожайности и относительно стабильных либо умеренно увеличивающихся посевных площадей обусловило значительный рост валовых сборов сахарной свеклы. Так, по данным таблицы 1, валовой сбор в Российской Федерации и Центральном федеральном округе в 2020-х годах существенно превосходит показатели конца 1990-х – начала 2000-х годов, а в Тамбовской области валовые сборы в отдельные годы в 2–3 раза выше исходного уровня. Это подтверждается современными

оценками, согласно которым валовое производство сахарной свеклы в РФ к середине 2020-х превышает 48–49 млн т при урожайности более 400 ц/га.

На фоне роста объёмов производства наблюдается устойчивое сокращение парка свеклоуборочных машин в РФ, ЦФО и Тамбовской области, что наглядно демонстрирует таблица 1 и диаграмма на рисунке 4. Если в конце 1990-х годов численность машин в Российской Федерации достигала 15–16 тыс. единиц, то к 2010-м годам она снизилась примерно в 3 раза, а в 2020-е годы стабилизировалась на уровне менее 2 тыс. машин; аналогичная тенденция фиксируется для ЦФО и Тамбовской области. В результате существенно возросла нагрузка на каждую единицу техники, как по площади, так и по массе убираемых корнеплодов, при одновременном сохранении жёстких агротехнических сроков уборки. [1-14].

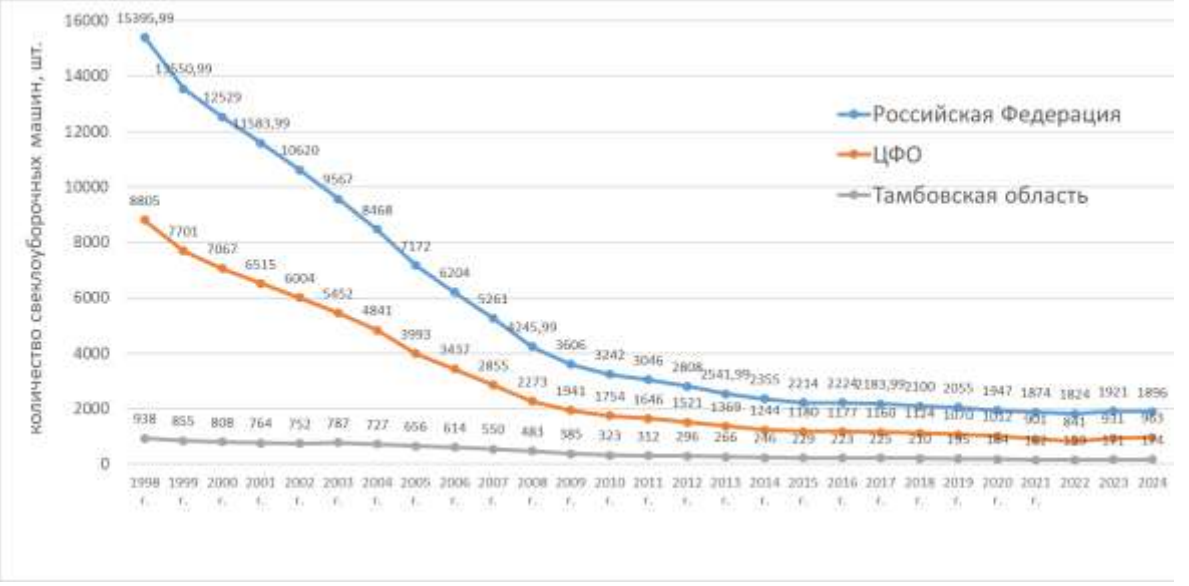


Рисунок 3 – Наличие свеклоуборочнх машин, шт 1998–2024 гг.

Рост посевных площадей и валовых сборов объективно приводит к увеличению нагрузки на парк свеклоуборочной техники [1-5, 14]. При этом уборка сахарной свеклы должна проводиться в ограниченные агротехнические сроки, а любые задержки или потери приводят к ухудшению качества сырья и снижению эффективности переработки [15-18].

Современное развитие свекловодства требует наличия высокопроизводительных и надежных технических средств на всех стадиях технологического процесса, начиная с подготовки почвы и посева и заканчивая уборкой и транспортированием корнеплодов [15-18]. Однако решающая роль принадлежит именно уборочной технике, поскольку она работает в наиболее напряженный период и оказывает прямое влияние на сохранность урожая [15-18].

Расширение посевных площадей сахарной свеклы в Российской Федерации, ЦФО и Тамбовской области означает, что даже незначительное увеличение потерь при уборке приводит к крупным абсолютным потерям продукции [15-18]. В этих условиях свеклоуборочные машины должны обеспечивать полноту извлечения корнеплодов из почвы, минимальную повреждаемость, качественную очистку от почвенных примесей и устойчивую работу в различных агрофонах [15-18].

Необходимость развития отечественной техники для возделывания и особенно уборки сахарной свеклы обусловлена рядом причин.

- Ростом посевных площадей и концентрацией производства в ведущих свеклосеющих регионах, что требует соответствующего увеличения производительности машин [1-5, 14].
- Потребностью в снижении технологической зависимости от импортных машин, узлов и комплектующих [15-18].
- Необходимостью адаптации конструкций к почвенно-климатическим условиям Центрально-Черноземной зоны и, в частности, Тамбовской области [15-18].
- Стремлением сократить потери и повреждаемость корнеплодов, а также снизить загрязненность вороха при уборке [15-18].

Развитие отечественных свеклоуборочных машин следует рассматривать, как одно из ключевых направлений технологического обеспечения свеклосахарного подкомплекса. Особого внимания требуют совершенствование корневыкапывающих рабочих органов, систем ботвоудаления, сепарации

и очистки, а также повышение надежности и энергоэффективности машин [15-18].

Проведенный анализ показал, что в 1998–2024 гг. в Российской Федерации, Центральном федеральном округе и Тамбовской области наблюдался устойчивый рост посевных площадей сахарной свеклы [1-5]. Рост площадей, высокая урожайность и крупные валовые сборы сахарной свеклы обуславливают необходимость совершенствования технического обеспечения отрасли [1-14]. В первую очередь это касается разработки и внедрения отечественной свеклоуборочной техники, способной обеспечить своевременную и качественную уборку урожая с минимальными потерями [7-14].

Совокупность приведённых в таблице 1 и на рисунках 1–4 данных свидетельствует о формировании противоречия между повышающимися объёмами производства сахарной свеклы и сокращающимся парком уборочной техники. В этих условиях развитие и модернизация отечественных свеклоуборочных машин становятся ключевым фактором устойчивого функционирования свеклосахарного подкомплекса, поскольку именно они должны обеспечивать высокую сменную и сезонную производительность, снижение потерь и повреждаемости корнеплодов, адаптацию к повышенной урожайности и разнообразным почвенно-климатическим условиям Центрально-Черноземного региона.

Список использованных источников

1. Посевные площади Российской Федерации в 2021 году. М.: Росстат, 2022.
2. Прутсков В. А. Динамика посевных площадей сахарной свеклы в Российской Федерации и Тамбовской области (2021–2024 гг.) как фактор развития свеклоуборочной техники: рабочий вариант статьи.
3. Посевные площади Российской Федерации в 2023 году. М.: Росстат, 2024.
4. Посевные площади Российской Федерации в 2022 году. М.: Росстат, 2023.
5. Посевные площади Российской Федерации в 2024 году. М.: Росстат, 2025.
6. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2025 году (предварительные данные). М.: Росстат, 2025.
7. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2021 году. Ч. 1. М.: Росстат, 2022.
8. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2022 году. Ч. 1. М.: Росстат, 2023.
9. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2021 году. Ч. 2. М.: Росстат, 2022.
10. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2022 году. Ч. 2. М.: Росстат, 2023.
11. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2024 году. Ч. 1. М.: Росстат, 2025.
12. Материалы Росстата по валовым сборам и урожайности сахарной свеклы в Российской Федерации, федеральных округах и субъектах Российской Федерации.
13. Материалы по статистике свекловодства и техническому обоснованию развития уборочной техники на основе официальных данных Росстата за 2021–2024 гг.
14. Витрина данны РОССТАТ Режим доступа https://showdata.rosstat.gov.ru/
15. ИННОВАЦИОННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА НА 9-й РОССИЙСКОЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОЙ ВЫСТАВКЕ «ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ»: Науч.-ан. обзор. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. — 176 с.
16. Гуреев И. И., Ревякин Е. Л. Инновационный опыт производства сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 140 с.
17. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сахарной свеклы: Метод. реком. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. — 56 с.
18. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства / Под ред. директора Департамента научно-технологической политики и образования Минсельхоза России В. В. Нунгезера, акад. Россельхозакадемии Ю.Ф. Лачуги и чл.-корр. Россельхозакадемии В.Ф. Федоренко. – Ч. I. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 372 с.

УДК 631.356.4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ КОРНЕВЫКАПЫВАЮЩИХ ОРГАНОВ СВЕКЛОУБОРОЧНЫХ МАШИН

Павлов Анатолий Григорьевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.с.х.н., доцент, кафедры «Агроинженерия»
e-mail: apavlovv@rambler.ru

Прохоров Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: pav1981@bk.ru

Пруцков Александр Анатольевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
prutskov.sascha.1983@yandex.ru

Аннотация
В статье представлен сравнительный анализ конструкций корневыкапывающих органов свеклоуборочных машин, применяемых в отечественной и зарубежной практике. Рассмотрены дисковые копачи-подкапыватели, плоскорежущие лапы и вибрационные копачи, выявлены их конструктивные особенности, эксплуатационные преимущества и ограничения. Установлено, что эффективность каждого типа рабочих органов в значительной степени определяется почвенно-влажностными условиями, уровнем засоренности посевов, требованиями к качеству выкопки и степенью согласованности машин в общей технологической цепи производства сахарной свеклы. В современных условиях наибольший интерес представляют комбинированные и адаптивные системы, обеспечивающие снижение потерь, уменьшение повреждаемости корнеплодов и возможность интеграции в ресурсосберегающие технологии.

Ключевые слова: сахарная свекла, свеклоуборочные машины, корневыкапывающие органы, дисковые копачи, вибрационные копачи, плоскорежущие лапы, ресурсосбережение, машинно-технологическая модернизация.

Производство сахарной свеклы остается одной из наиболее технически сложных отраслей растениеводства, поскольку конечная эффективность технологического процесса во многом определяется качеством уборки корнеплодов. Именно на этапе извлечения корнеплодов из почвы формируются значительная часть потерь урожая, механические повреждения, загрязненность вороха и дополнительные затраты на последующую доработку продукции [1-3]. Корневыкапывающие органы являются определяющим звеном свеклоуборочной машины, так как от характера их взаимодействия с почвой и корнеплодом зависят полнота выкопки, сохранность хвостовой части корнеплода, степень отделения почвы и устойчивость работы машины в различных почвенно-климатических условиях [1].

В традиционных технологиях уборки сахарной свеклы несовершенство рабочих органов нередко приводит к повышенной загрязненности вороха, росту тягового сопротивления и увеличению травмирования корнеплодов. Эти недостатки особенно заметны в условиях тяжелых и переувлажненных почв Центрально-Черноземного региона, где уборка часто проводится в сжатые сроки и при нестабильной осенней влажности [1-3]. В связи с этим совершенствование конструкций корневыкапывающих органов является важным направлением развития свеклоуборочной техники.

Цель статьи — провести сравнительный анализ основных типов корневыкапывающих органов свеклоуборочных машин с учетом материалов по ресурсосберегающим технологиям, инновационному опыту производства сахарной свеклы и современным тенденциям машинно-технологической модернизации отрасли [1-4].

Классификация корневыкапывающих органов

По принципу взаимодействия с почвой и корнеплодом корневыкапывающие органы свеклоуборочных машин могут быть разделены на несколько основных групп: дисковые копачи-подкапыватели, плоскорежущие лапы, вибрационные копачи, комбинированные системы и специализированные активные органы. Наиболее широкое практическое распространение получили первые три группы, так как именно они определяют конструктивную основу большинства серийных машин.

Дисковые копачи обеспечивают подрезание и частичное разрыхление почвы с боковых сторон корнеплода, плоскорежущие лапы выполняют горизонтальное подрезание почвенного пласта снизу, а вибрационные системы сочетают подрезание с активным колебательным воздействием на почву. Различия в принципе действия обуславливают отличия в тяговом сопротивлении, уровне повреждаемости корнеплодов, степени очистки и эксплуатационной надежности в разных условиях работы.

Дисковые копачи (рисунок 1) представляют собой систему из двух рабочих дисков, устанавливаемых по обе стороны рядка под определенным углом к направлению движения машины. При движении агрегата диски внедряются в почву ниже нижней части корнеплода, разрыхляют зону его залегания и способствуют вертикальному извлечению с меньшим риском обламывания хвостовой части. В ряде конструкций применяются активноприводные диски, подпружиненные элементы, щеточные очистители и комбинированные схемы привода, направленные на повышение качества выкопки и снижение загрязненности вороха [2].



Рисунок 1 - Гидравлические дисковые копачи

Преимуществом дисковых систем является сравнительно мягкое воздействие на корнеплод и возможность более чистого отделения почвы при благоприятных условиях работы. Особенно эффективно такие органы проявляют себя на структурных и умеренно влажных почвах, где обеспечивается стабильное заглубление и равномерное ведение дисков [3]. В современных зарубежных машинах развитие дисковых рабочих органов сопровождается внедрением систем точного копирования рядков, автоматического поддержания глубины и электронного контроля технологического процесса [2-6].

К числу основных преимуществ дисковых копачей относятся сравнительно низкая повреждаемость корнеплодов, хорошее качество извлечения и снижение загрязненности вороха. По данным рассматриваемых материалов, для дисковых систем характерна загрязненность вороха на уровне 8–12% при работе в оптимальном диапазоне влажности почвы 18–25%. При использовании активного привода возможно также снижение тягового сопротивления по сравнению с пассивными системами.

Однако дисковые рабочие органы имеют и существенные ограничения. Их эффективность заметно снижается на переувлажненных, тяжелых и склонных к налипанию почвах, где ухудшается самоочищение рабочих поверхностей и возрастает нестабильность хода [3]. Кроме того, активные дисковые системы характеризуются повышенной конструктивной сложностью, большей стоимостью и более высокими требованиями к техническому обслуживанию [2].

Плоскорежущая лапа представляет собой лемешный рабочий орган (рисунок 2), подрезающий почвенный слой под корнеплодом по горизонтальной траектории. Конструктивно она включает стойку и крылья, формирующие подрезающий элемент, который заглубляется ниже нижней точки расположения корнеплода. После подрезания пласт почвы вместе с корнеплодом подается к последующим рабочим органам машины для извлечения и очистки.

Плоскорежущие органы отличаются конструктивной простотой, технологичностью изготовления и сравнительно низкой стоимостью. Именно эти качества долгое время обеспечивали им широкое распространение в отечественной практике. На легких и достаточно сухих почвах такие органы способны обеспечивать удовлетворительное качество подкапывания при умеренных эксплуатационных затратах.

Основным преимуществом плоскорежущих лап является простота конструкции и эксплуатационная доступность. Они менее сложны в изготовлении и ремонте, чем активные или вибрационные системы, что делает их привлекательными для хозяйств с ограниченными ресурсами. В

сухих и рыхлых почвенных условиях плоскорежущие органы могут работать достаточно стабильно, обеспечивая приемлемую полноту подрезания корнеплодов.



Рисунок 2 - Плоскорежущие лапы

Вместе с тем их недостатки существенно ограничивают область эффективного применения. Для плоскорежущих лап характерны повышенное тяговое сопротивление, более высокая загрязненность вороха и склонность к залипанию при повышенной влажности почвы. По данным исходной статьи, загрязненность вороха может составлять 15–25%, а при влажности выше 20% эффективность работы заметно снижается. Поэтому использование таких органов в тяжелых черноземных почвах осеннего периода часто оказывается недостаточно эффективным.

Вибрационные копачи (рис. 3) развивают идеи лемешных систем: здесь подрезание почвы идет под возвратно-поступательными колебаниями рабочего органа. Вибрация разрушает связи в почве, снижает трение и лучше отдирает комья от корнеплода. В итоге корнеплоды извлекаются легче, особенно в тяжелых и связных грунтах, с меньшим риском повреждений.

Вибрацию создают эксцентриковым приводом, рычажными шарнирами или другими кинематическими схемами — в зависимости от конструкции. Сейчас акцент на подборе частоты, амплитуды и адаптации под условия поля, чтобы поднять эффективность [2 6].



Рисунок 3 - Вибрационные копачи

Среди плюсов — ниже тяговое сопротивление, чем у лемешек, меньше (2–5%) повреждений корнеплодов и стабильная работа на тяжелых почвах. Они справляются при влажности грунта до 27%, что выгодно для регионов с такими условиями во время уборки.

К ограничениям вибрационных систем относятся повышенная конструктивная сложность, наличие быстроизнашивающихся шарниров и подвижных соединений, а также более высокие требования к надежности привода. Тем не менее по совокупности показателей в сложных почвенных условиях такие органы часто оказываются более предпочтительными, чем плоскорежущие лапы и ряд пассивных дисковых систем [3].

Современный подход к оценке корневыкапывающих органов не может ограничиваться только сравнением отдельных машинных узлов. В условиях ресурсосберегающего земледелия важна

согласованность всей технологической цепи производства сахарной свеклы: от подготовки почвы и точного высева до уборки, транспортировки и первичной доработки корнеплодов [1-3]. Материалы по перспективной ресурсосберегающей технологии показывают, что снижение числа проходов техники по полю, повышение точности технологических операций и уменьшение потерь на каждом этапе дают совокупный экономический эффект, превышающий эффект от локальной модернизации одного рабочего органа [3].

С этой точки зрения корневыкапывающие органы должны оцениваться не только по показателям тягового сопротивления и повреждаемости корнеплодов, но и по их влиянию на общую устойчивость технологического процесса. Чем выше согласованность работы выкапывающего органа с системой очистки, транспортирования и последующей доработки продукции, тем ниже потери урожая и себестоимость конечной продукции [1-3].

Анализ материалов по машинно-технологической модернизации сельского хозяйства показывает, что развитие техники для уборки корнеплодов идет по пути повышения энергонасыщенности машин, расширения автоматизации, применения электронных систем контроля и внедрения средств точного земледелия [2, 4]. Для свеклоуборочных машин это означает переход от исключительно механического совершенствования рабочих органов к комплексной модернизации, включающей датчики, навигационные системы, автоматическое копирование рельефа и цифровой мониторинг качества работы [2, 4].

В зарубежных образцах техники подобные решения уже применяются в комплексе с высокопроизводительными самоходными шасси и адаптивными рабочими модулями [2, 4]. Это позволяет поддерживать стабильное качество выкопки при изменяющихся условиях поля, снижать влияние человеческого фактора и более точно управлять технологическими

Сравнительная оценка основных типов рабочих органов

Сопоставление основных характеристик исследуемых систем показывает, что универсального корневыкапывающего органа, одинаково эффективного во всем диапазоне почвенно-влажностных условий, в настоящее время не существует. Каждый тип имеет выраженную зону рационального применения и собственный баланс преимуществ и недостатков, см. таблица 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ выкапывающих рабочих органов

Параметр	Дисковые копачи	Плоскорежущие лапы	Вибрационные копачи
Тяговое сопротивление	Ниже при активном приводе	Повышенное	Снижается на 15–25%
Повреждения корнеплодов, %	5–10	3–7	2–5
Примеси в ворохе, %	8–12	15–25	10–15
Оптимальная влажность почвы, %	18–25	15–20	До 27
Сложность конструкции	Средняя или высокая	Низкая	Высокая
Перспективность для тяжелых черноземов	Средняя	Низкая	Высокая

Дисковые копачи целесообразны в условиях умеренной влажности и при необходимости снижения загрязненности вороха. Плоскорежущие лапы оправданы прежде всего на легких и сухих почвах, где их простота и доступность остаются важным преимуществом. Вибрационные системы более предпочтительны в тяжелых и влажных почвах, характерных для части хозяйств Центрально-Черноземного региона, поскольку позволяют уменьшить повреждаемость корнеплодов и повысить устойчивость технологического процесса [1,3].

Дальнейшее развитие корневыкапывающих органов должно быть связано с созданием комбинированных систем, сочетающих достоинства дисковых и вибрационных схем [4]. Перспективным представляется формирование адаптивных рабочих органов, способных изменять режим работы в зависимости от плотности, влажности и структуры почвы [3, 4].

Для отечественного сельскохозяйственного машиностроения это означает необходимость перехода от локального совершенствования отдельных деталей к проектированию современных рабочих

модулей, встроенных в ресурсосберегающую технологию возделывания и уборки сахарной свеклы [1-4]. Эта тема особенно важна для Тамбовской области и всего Центрально-Черноземного региона: тяжелые почвы плюс осенняя сырость требуют от копалок особой аккуратности.

Сравнительный анализ подтверждает: техника для сахарной свеклы эволюционирует к росту производительности, меньшим потерям и повреждениям корнеплодов — через доработку рабочих органов и схем машин [5].

Дисковые копачи дают чистый ворох и бережно выкапывают, но на переувлажненных тяжелых грунтах они буксуют [1-4].

Плоскорежущие лапы не теряют актуальности в уборке свеклы благодаря крайней простоте конструкции и минимальным затратам на изготовление и обслуживание. Однако их главный минус — сильное загрязнение вороха комьями и мусором, плюс сбои при повышенной влажности: лапы забиваются, тяга растет, а корнеплоды повреждаются чаще. По сравнению с вибрационными или дисковыми системами они проигрывают по качеству выкопки в сложных грунтах. [2-6].

Вибрационные копачи наиболее перспективны для сложных почвенно-влажностных условий, так как обеспечивают снижение тягового сопротивления, уменьшение повреждаемости корнеплодов и более устойчивую работу на тяжелых почвах [3].

Использование материалов по ресурсосберегающим технологиям и инновационному опыту производства сахарной свеклы позволяет заключить, что максимальный технико-экономический эффект достигается при системном согласовании машин на всех этапах технологического процесса — от посева до уборки и транспортировки продукции [1-3].

Анализ тенденций машинно-технологической модернизации показывает перспективность внедрения в свеклоуборочную технику автоматического вождения, электронного мониторинга, адаптивного регулирования рабочих органов и элементов точного земледелия [2-6]. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка комбинированных вибрационно-дисковых корневыкапывающих органов с адаптивным управлением параметрами работы в зависимости от состояния почвы и условий уборки [3,4].

Список использованных источников

1. Гуреев И. И., Ревякин Е. Л. Инновационный опыт производства сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 140 с.
2. ИННОВАЦИОННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА НА 9-й РОССИЙСКОЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОЙ ВЫСТАВКЕ «ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ»: Науч.-ан. обзор. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. — 176 с..
3. Перспективная ресурсосберегающая технология производства сахарной свеклы: Метод. реком. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. — 56 с.Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства.
4. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства / Под ред. директора Департамента научно-технологической политики и образования Минсельхоза России В. В. Нунгезера, акад. Россельхозакадемии Ю.Ф. Лачуги и чл.-корр. Россельхозакадемии В.Ф. Федоренко. – Ч. I. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. – 372 с.
5. Глазков, Ю. Е. Сельскохозяйственные машины : Учебное пособие / Ю. Е. Глазков, В. П. Капустин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2015. – 280 с. – (Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-010345-7. .
6. Капустин, В. П. Сельскохозяйственные машины: настройка и регулировка : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / В. П. Капустин, Ю. Е. Глазков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2010. – 195 с.

УДК 631.3:633.63

АНАЛИЗ МАШИН ДЛЯ УБОРКИ САХАРНОЙ СВЁКЛЫ И ОБОСНОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАШИН С ДИСКОВЫМИ ВЫКАПЫВАЮЩИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Павлов Анатолий Григорьевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.с.х.н., доцент, кафедры «Агроинженерия»
e-mail: apavlovv@rambler.ru

Прохоров Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: pav1981@bk.ru

Пруцков Александр Анатольевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
prutskov.sascha.1983@yandex.ru

Аннотация
В статье проведён комплексный анализ современных отечественных и зарубежных машин для уборки сахарной свёклы с акцентом на машины, оснащённые дисковыми выкапывающими рабочими органами, выпускаемые на территории России и Беларуси. Рассмотрено состояние свекловодства и рынка уборочной техники в условиях санкционных ограничений. Выполнен сравнительный анализ конструктивных и технологических параметров отечественных и зарубежных машин. Обоснованы направления модернизации дисковых выкапывающих рабочих органов с целью снижения потерь корнеплодов, повышения производительности и надёжности отечественной техники.
Ключевые слова: сахарная свёкла, свеклоуборочный комбайн, дисковые копачи, выкапывающие рабочие органы, модернизация, импортозамещение.

Сахарная свёкла является стратегической сельскохозяйственной культурой: она служит единственным источником получения отечественного белого сахара и ценным сырьём для пищевой и химической промышленности. В России свекловодство сосредоточено преимущественно в Центральном Черноземье, Краснодарском крае и Поволжье, формируя устойчивую потребность в специализированной уборочной технике [1, 2].

В 2024 году посевные площади под сахарной свёклой в России составили 1168,81 тыс. га, что на 16,47% больше по сравнению с 2021 годом. Валовой сбор корнеплодов вырос до 116,69 тыс. т, показав прирост в 19,17% за тот же период. Столь интенсивный рост площадей и объёмов производства существенно повышает потребность в высокопроизводительной и надёжной уборочной технике [3].

Беларусь является крупным производителем сахарной свёклы в рамках Союзного государства: основные посевные площади сосредоточены в Гродненской и Брестской областях. Предприятия белорусского машиностроения, прежде всего ОАО «Гомсельмаш», исторически являлись ключевыми поставщиками свеклоуборочной техники на рынок России [4].

До 2022 года российский рынок свеклоуборочной техники был ориентирован преимущественно на европейских производителей — Grimme (Германия), Holmer (Германия) и ROPA (Германия). Эти компании поставляли высокотехнологичные самоходные комбайны с дисковыми и вибрационными копачами, имеющие производительность 1,5–3,5 га/ч и бункеры вместимостью 20–45 м³.[5, 6]

Начиная с 2022 года, в связи с введёнными санкционными ограничениями, ведущие западные производители фактически ушли с российского рынка или существенно сократили поставки. По данным ассоциации «Росспецмаш», хозяйства Центрального макрорегиона снизили закупки импортных свеклоуборочных комбайнов и комплексов, практически не имеющих аналогов в России. По оценке ассоциации, картофелеводство и свекловодство — это одни из немногих сегментов, в которых в России недостаточно развито или неразвито производство специализированной техники.[7, 8]

Свеклоуборочные комбайны даже на Западе — это фактически штучное производство, рассчитанное на мировой рынок, а не на локальный. Это объективно усложняет задачу импортозамещения. Тем не менее, в условиях растущих посевных площадей и потребности в обновлении парка, системная государственная поддержка и реализация программ субсидирования закупок техники создают необходимую основу для развития отечественных производств.[7, 8]

Все машины для уборки сахарной свёклы по технологическому принципу работы делятся на несколько основных классов:

1. **Самоходные комбайны** — производят ботвоудаление, выкапывание, очистку и выгрузку в один проход.
2. **Прицепные комбайны** — агрегатируются с тракторами классов тяги 3–5 и выполняют те же операции в один проход.
3. **Ботвоуборочные машины + корнеуборочные машины** — раздельная технология (традиционно применяется в Беларуси).

По типу выкапывающих рабочих органов машины классифицируют следующим образом:[2]

- **Дисковые копачи** — пара вращающихся дисков (активный + пассивный), зажимают корнеплод и извлекают его из почвы.
- **Вибрационные (лемешные) копачи** — подрезают почву вибрирующими сошниками-лемехами.
- **Вилочные (активные вилки)** — применяются в некоторых прицепных конструкциях.
- **Комбинированные** — сочетают диск и нож (подрезающий нож + диск).

Настоящая работа сосредоточена на анализе машин с **дисковыми выкапывающими рабочими органами**, как наиболее распространённых в отечественном и белорусском машиностроении на современном этапе.

Отечественные и белорусские машины с дисковыми выкапывающими рабочими органами

Прицепной свеклоуборочный комбайн КС-6 «ЗУБР» (ООО «Техмаш», Россия)

Прицепной свеклоуборочный комбайн КС-6 «ЗУБР», разработанный и производимый российским заводом ООО «Техмаш», является полным российским аналогом американского комбайна AMITY и остаётся одним из наиболее доступных отечественных агрегатов на рынке в 2024–2025 годах. [9]

Конструктивные особенности и технические характеристики:

- **Выкапывающие органы**: регулируемые дисковые копачи с изменяемым зазором; в условиях плотной сухой почвы позволяют убирать свёклу без обрыва хвостов корнеплода; на влажных почвах обеспечивают уборку с меньшим количеством земли. [10]
- **Первичный транспортёр-очиститель**: подаёт корнеплоды с дисковых копачей на шнековый очиститель; удаляет 50–60% почвы до шнекового очистителя, что позволяет установить менее агрессивный режим его работы. [10]
- **Шнековый очиститель**: 8 регулировок (скорость вращения, зазор, наклон, направление вращения).[9]
- **Системы вождения**: инновационный копир рядка, амортизирующие рабочие стойки копачей.[9]
- Конструкция позволяет оператору наблюдать за копачами или шнековым очистителем, не выходя из кабины трактора. [10]

Самоходная корнеуборочная машина КС-6Б (исторический прототип с дисковыми копачами)

Самоходная корнеуборочная машина КС-6Б — классическая шестирядная машина советской конструкции, ставшая базовой платформой для большинства последующих отечественных разработок. Машина была оснащена шестью дисковыми копачами: каждый имел один пассивный и один активный приводной диск, что обеспечивало повышенную работоспособность на влажных почвах. [11]

Технологическая схема: дисковые копачи → битеры → шнековый очиститель → продольный элеватор → комкодробитель → ленточный транспортёр → бункер. Машина оснащалась автоматом вождения по рядкам, кабиной с очисткой воздуха, системой автоматического контроля рабочих органов. Мощность двигателя — 110 кВт; агрегатируется с тракторами класса тяги 3 при шаге рядков 45 см [11-13].

Свеклоуборочный комплекс КС-6В (Беларусь)

Самоходная машина КС-6В применяется в Беларуси в рамках раздельной технологии уборки: ботвоуборочная машина БМ-6Б (с возможной доочисткой головок машиной ОГД-6А) + корнеуборочная КС-6В. Традиционно используется в Гродненской, Брестской и Минской областях. Машина КС-6В оснащена дисковыми копачами, аналогичными по конструкции КС-6Б, с модернизацией системы привода и очистительного аппарата. [14]

Самоходный комбайн «РУСЛАН СКС 6-45» (GRITAN, Россия, 2024)

Одним из ключевых событий 2024 года в российском свекловодстве стала презентация первого отечественного самоходного свеклоуборочного комбайна «РУСЛАН СКС 6-45» компании GRITAN (г. Ставрополь) на выставке АГРОСАЛОН-2024 (Москва, октябрь 2024 г.). Комбайн получил золотую

звезду выставки за разработку и запуск в производство с максимальной локализацией основных узлов и компонентов. [15, 16]

Основные характеристики и особенности машины «РУСЛАН СКС 6-45» [17-19]:

- **Схема уборки**: 6 рядков, ширина захвата 45 см.
- **Производительность**: в базовом исполнении до 1,5 га/ч; в варианте XL — до 2,5 га/ч.
- **Система управления**: полностью автоматизированная система управления и автовождения, исключающая ошибки оператора.
- **Локализация**: ключевые узлы и трансмиссия производства России, Беларуси и КНР — что обеспечивает существенное снижение стоимости по сравнению с импортными аналогами.
- **Текущий статус**: полевые испытания запланированы на 2025 год; первая опытно-промышленная партия — в 2026 году; серийное производство — с 2027 года.[19-20]

По заявлению разработчиков, характеристики «РУСЛАН СКС 6-45» превосходят мировые аналоги. Компания GRITAN также планирует выпустить аналоги самоходного погрузчика сахарной свёклы и буртоукладочной машины [17, 21].

Анализ зарубежных машин с дисковыми выкапывающими рабочими органами

Grimme REXOR 6200 и REXOR 6300 (Германия)

Серия REXOR является одной из самых распространённых в мировой практике свеклоуборки. Новейшее поколение, представленное в 2022–2024 годах, см. таблицу 1, сочетает инновационные решения по бережному обращению с корнеплодами и высокую производительность [22, 23].

Таблица 1

Характеристика машин для уборки свеклы Grimme REXOR [22, 24, 25]

Параметр	REXOR 6200	REXOR 6300
Число рядков	6	6
Объём бункера	30 м³ (20 т)	45 м³
Оси	2	3
Мощность двигателя	653 л.с.	653 л.с.
Тип копачей	Дисковые (гидропривод) / виброкопачи	Дисковые (гидропривод) / виброкопачи
Систем ботвоудаления	4 варианта	4 варианта
Длина × Ширина × Высота	13300 × 3000–3300 × 4000 мм	13500 × 3000–3300 × 4000 мм

Ключевые конструктивные решения Grimme REXOR нового поколения:

- **Подвижные дисковые копачи с гидравлическим приводом**: обеспечивают исключительное бережное обращение с продуктом и высокую степень очистки [24].
- **Новый вальцовый стол с интегрированной системой камнезащиты**: над 7 очищающими вальцами повышает эффективность очистки при сохранении бережного обращения [24].
- **Фронтальный ботвоудалитель FM**: обеспечивает полностью очищенную от ботвы свёклу без среза верхушек.[22]
- **Цифровая видеосистема SmartView**: даёт оператору визуальный контроль зоны уборки в реальном времени.[24]
- **ISOBUS-пульт CCI 1200**: интуитивно понятное управление всеми системами машины [24].
- **Константный дообрезчик**: автоматическая настройка глубины среза в зависимости от размера каждого корнеплода.[24]

ROPA Tiger 6S, Tiger 6, Panther 2S (Германия)

Компания ROPA специализируется на производстве высокопроизводительных комбайнов для крупных свеклосеющих хозяйств [6], см. таблицу 2.

Дисковые копачи ROPA оснащены гидравлическим приводом с автоматической регулировкой зазора в зависимости от состояния почвы. Шасси с поперечной стабилизацией и автоматическим выравниванием на склоне обеспечивает стабильное функционирование дисковых органов при уборке на холмистых полях.[26]

Таблица 2

Характеристики уборочных машин фирмы ROPA [6, 26, 27]

Параметр	Panther 2S	Tiger 6	Tiger 6S
Оси	2	3	3
Объём бункера	30 м³	43 м³	43 м³
Мощность	796/768 л.с.	700/768 л.с.	768/796 л.с.
Двигатель	Volvo (16,12 л)	Volvo (16,12 л)	Volvo (16,12 л)
Управление	R-Touch (12,1")	R-Touch	R-Touch

Holmer Terra Dos T3 / T4-30 (Германия)

Holmer Terra Dos — один из ведущих самоходных свеклоуборочных комбайнов, хорошо знакомых российским аграриям. В отличие от Grimme и ROPA, основная система выкапывания Holmer построена на вибрационных сошниках (подкапывающих лемехах), а не на дисковых копачах. Тем не менее, опциональное оборудование допускает применение дисковых подкапывающих органов для работы при экстремальных почвенных условиях. Машина обеспечивает уборку 6 рядков с бункером 36 м³ при мощности двигателя 626 л.с..[5]

Сравнительный анализ технологических показателей

Таблица ниже систематизирует ключевые агротехнические и технологические показатели отечественных и зарубежных машин с дисковыми выкапывающими рабочими органами [3, 6, 10, 17, 22], см. таблицу 3.

Таблица 3

Сравнительный анализ технологических показателей свеклоуборочных машин

Показатель	КС-6 «ЗУБР» (РФ)	GRITAN «РУСЛАН СКС 6-45» (РФ, 2024)	Grimme REXOR 6200 (Германия)	ROPA Panther 2 (Германия)
Тип агрегата	Прицепной	Самоходный	Самоходный	Самоходный
Число рядков	6	6	6	6
Ширина захвата, мм	2700	2700	2700–3300	2700
Мощность, л.с.	130–180 (трактора)	н/д (собств.)	653	700–768
Объём бункера	нет	н/д	30 м³	30 м³
Производительность, га/ч	0,8–1,2	до 1,5–2,5	1,5–2,5	1,8–3,0
Потери корнеплодов, %	5–15	н/д	2–5	2–4
Тип копачей	Дисковые регул.	Дисковые (предпол.)	Дисковые гидравл.	Дисковые гидравл.

Система автовождения	Нет	Да (автопилот)	Да (GPS)	Да (GPS)
Камнезащита	Базовая	н/д	Интегрированная	Интегрированная
Видеосистема	Нет	Есть (планируется)	SmartView	R-Touch

Анализ конструкции дисковых выкапывающих рабочих органов

Принцип работы дисковых копачей

Дисковый копач представляет собой пару дисков (активный и пассивный или оба активных), расположенных по обеим сторонам ряда. В процессе движения диски заглубляются в почву и, вращаясь, осуществляют подрезку, захват корнеплода и его извлечение вверх методом зажима между дисковыми поверхностями.[2, 11]

Основные конструктивные параметры дисковых копачей:

- **Диаметр диска** — обычно 500–600 мм для отечественных и 550–650 мм для зарубежных машин.
- **Угол раскрытия пары дисков** — влияет на силу зажима и условия захвата корнеплодов разного размера.
- **Зазор между дисками** — регулируется в зависимости от размера корнеплодов (от 15 мм до 60 мм).
- **Глубина хода** — 15–25 см для стандартных условий; регулируется копирующими колёсами или гидравлическими цилиндрами. [28]
- **Тип привода**: пассивный (от почвы) или активный (от ВОМ через трансмиссию) — для улучшения работы на влажных и тяжёлых почвах.[11]

Преимущества дисковых копачей

По сравнению с вилочными (активными вилками) и лемешными выкапывающими органами, дисковые копачи имеют следующие преимущества:[2, 29]

- Меньшая тяговая нагрузка на тяжёлых почвах.
- Высокое качество извлечения корнеплодов: минимальный обрыв хвостов при оптимальной настройке зазора.
- Способность работать на повышенных скоростях (до 8–10 км/ч).
- Хорошая самоочистка рабочей поверхности.
- Универсальность: применимы на различных типах почв.

Недостатки и актуальные проблемы дисковых копачей отечественных машин

На основании анализа литературных источников и данных представленных материалов выявлены следующие проблемы дисковых выкапывающих органов действующих отечественных машин:[2, 29, 30].

1. **Высокие потери корнеплодов** (5–15% для отечественных против 2–5% у зарубежных) — обусловлены недостаточной точностью копирования рельефа и нестабильностью регулировки зазора.
2. **Поломки при наезде на камни** — отсутствие интегрированных систем камнезащиты (срезных болтов или гидравлических предохранителей) приводит к деформации дисков и поломке приводного вала.
3. **Нестабильная глубина хода** — при изменении плотности почвы и рельефа глубина копания изменяется, что увеличивает потери и засорённость вороха.
4. **Отсутствие гидравлического привода дисков** — пассивная схема снижает качество работы на влажных почвах и при высоком содержании растительных остатков.
5. **Отсутствие систем автоматической регулировки** — оператор вынужден вручную подстраивать параметры копачей при смене условий уборки.
6. **Износ дисков** — применяемые стали не всегда обеспечивают ресурс работы, сопоставимый с зарубежными аналогами (сталь HARDOX у Grimme) [31].

Обоснование модернизации дисковых выкапывающих рабочих органов

Направления модернизации

На основе сравнительного анализа конструкций отечественных и зарубежных машин, а также изучения диссертационных и патентных исследований, сформулированы следующие направления

модернизации дисковых выкапывающих рабочих органов выпускаемых отечественных машин [2, 30, 32]:

- Введение гидравлического привода дисков. Зарубежные комбайны Grimme REXOR 6200/6300 и ROPA Panther 2 оснащены дисками с гидравлическим приводом, что обеспечивает независимую регулировку частоты вращения каждого диска, активное выталкивание корнеплода и стабильную работу на влажных и тяжёлых почвах. Внедрение гидравлического привода в конструкцию отечественных дисков позволит снизить потери корнеплодов с 5–15% до 2–5%.[24, 26]

- Интеграция системы автоматической регулировки зазора. Система с датчиком размера корнеплода и электрогидравлическим исполнительным органом позволяет изменять зазор между дисками в режиме реального времени. Это особенно актуально для условий российских полей с высокой вариабельностью размерно-массовых характеристик корнеплодов [28].

- Внедрение системы камнезащиты. Зарубежные аналоги оснащены встроенными системами защиты от камней: у Grimme — интегрированная камнезащита в вальцовом столе; у ROPA — над основными очищающими органами. Отечественные машины требуют разработки аналогичной системы, включающей срезные предохранительные элементы и гидравлические амортизаторы стоек [24].

- Применение износостойких сталей для дисков. Использование твёрдосплавных сталей типа HARDOX или отечественных аналогов (сталь Hardox 400/500 российского или белорусского производства) для дисков и лезвийных кромок позволит увеличить межремонтный ресурс с 200–300 га до 500–700 га [31].

- Оснащение игольчатыми рыхлителями. По данным исследований, выполненных в ВНИИТИН (г. Тамбов), наличие игольчатого рыхлителя снижает усилие извлечения корнеплодов сахарной свёклы из почвы за счёт разрыхления почвенного пласта; наибольший эффект (свыше 50% снижения усилия) достигается при использовании диска с 12 зубьями [32].

- Разработка комбинированного «диск + подрезающий нож» копача. Как показано в диссертационных исследованиях (Башкирев А.П.), комбинированный копач, сочетающий вращающийся диск и горизонтальный подрезающий нож, обеспечивает достоверное снижение тягового сопротивления и потерь хвостов корнеплодов [2].

- Интеграция системы автовождения и GPS-навигации. Производитель GRITAN уже закладывает в комбайн «РУСЛАН СКС 6-45» полностью автоматизированную систему автовождения. Для прицепных машин типа КС-6 «ЗУБР» целесообразно разработать систему автоматического копира рядка с электрогидравлическим управлением рулевой частью трактора [17].

Экономическое обоснование модернизации

Стоимость зарубежных самоходных свеклоуборочных комбайнов составляет от 51 млн руб. за Holmer Terra Dos T3 до 65–540 тыс. евро за Grimme REXOR различных поколений. Для большинства российских хозяйств средней и малой формы такие затраты недоступны без льготного лизинга. Модернизация имеющегося парка прицепных машин типа КС-6 с заменой или доработкой дисковых копачей является экономически оправданной альтернативой, позволяющей при затратах 500–800 тыс. руб. снизить потери урожая на 8–10%, что при урожайности 40–50 т/га и цене корнеплода 2000–2500 руб./т даёт экономический эффект 160–200 тыс. руб. на один комбайн за сезон.[5, 33]

Перспективы развития отечественного свеклоуборочного машиностроения

Ситуация в отечественном свеклоуборочном машиностроении претерпевает существенные изменения. По данным ассоциации «Росспецмаш» и Росспецмаша, доля отечественной сельхозтехники на российском рынке в целом составляет более 50%, однако в сегменте свеклоуборочных комбайнов она исторически оставалась незначительной [34, 35].

Переломным моментом стало появление комбайна «РУСЛАН СКС 6-45» от GRITAN: впервые в истории постсоветской России разработан и представлен прототип полноценного самоходного свеклоуборочного комбайна с максимальной локализацией производства. Компания GRITAN (Ставрополь) обладает 48,8% доли российского рынка в своём сегменте прицепных машин, что обеспечивает необходимую производственную базу [15, 21].

Параллельно белорусские производители (прежде всего «Гомсельмаш» и партнёрские предприятия) продолжают совершенствовать раздельные технологии уборки свёклы, адаптируя их к условиям Союзного государства. ОАО «Гомсельмаш» сохраняет производство навесного комбайна КСН-6-3 с вибрационными копачами, однако перспективным направлением развития является модернизация выкапывающих органов, в том числе с переходом на дисковые схемы гидравлического привода по образцу ведущих зарубежных производителей [36].

Инновационные направления развития свеклоуборочной техники включают [28]:

- Увеличение вместимости бункеров (до 40 м³ у свеклоуборочных комбайнов).
- Рост рабочих и транспортных скоростей.

- Оснащение интеллектуальными системами управления с искусственным интеллектом.
- Применение прецизионных систем позиционирования и автовождения.
- Оптимизацию выкапывающих органов для снижения давления на почву и уменьшения тягового сопротивления.

Заключение

Производство сахарной свёклы в России демонстрирует устойчивый рост: площади за 2021–2024 гг. увеличились на 16,47%, урожай — на 19,17%, что обусловливает высокую потребность в современных уборочных машинах.[3]

В настоящее время на территории России и Беларуси к машинам с дисковыми выкапывающими рабочими органами серийного (или предсерийного) производства относятся: КС-6 «ЗУБР» (ООО «Техмаш», Россия) — прицепной; самоходный «РУСЛАН СКС 6-45» (GRITAN, Россия, 2024–2027); самоходная КС-6В (Беларусь) в составе раздельных комплексов.[14][17][^10]

Зарубежные машины — Grimme REXOR 6200/6300, ROPA Tiger 6/Panther 2 — оснащены дисковыми копачами с гидравлическим приводом, интегрированными системами камнезащиты, автоматической регулировкой зазора и цифровыми системами управления, что обеспечивает потери корнеплодов на уровне 2–5% против 5–15% у отечественных аналогов.[6][22][^24]

Основными направлениями модернизации дисковых выкапывающих рабочих органов отечественных машин являются: введение гидравлического привода дисков, интеграция систем автоматической регулировки зазора и камнезащиты, применение износостойких сталей, оснащение игольчатыми рыхлителями и системами автовождения.[32][28][^2]

Реализация предложенных направлений модернизации позволит снизить потери корнеплодов до 2–5%, увеличить производительность на 20–40% и обеспечить конкурентоспособность отечественных машин на внутреннем рынке в условиях импортозамещения.

Список использованных источников

1. Семыкин, В. А. Совершенствование технологии и средств механизации производства сахарной свеклы в ЦЧР на агроэкологической основе : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Семыкин Владимир Анатольевич. – Курск, 2003. – 360 с.
2. Башкирев, А. П. Развитие теории и совершенствование выкапывающих рабочих органов свеклоуборочных машин : специальность 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Башкирев Анатолий Петрович. – Москва, 2007. – 31 с.
3. GRITAN планирует начать производство свеклоуборочных комбайнов // Fertilizer Daily. — 30 сент. 2024. — URL: https://www.fertilizerdaily.ru/20241001-gritan-planiruet-nachat-proizvodstvo-svekloubo rochnykh-kombajnov/
4. Машины для уборки корнеплодов и луковичных культур / В. П. Буяшов, И. В. Горбачев, Г. Н. Портянко, В. А. Родионов // Механизация и электрификация сельского хозяйства : Межведомственный тематический сборник / Под редакцией П. П. Казакевича, Чеботарев, В. П. ; В. Н. Дашков (ред. и рец.). Том Выпуск 46. – Минск : Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – С. 130-138.
5. Комбайн свеклоуборочный Holmer Terra Dos T2 / T3. - Режим доступа: https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_ef0416f9-e1d5-4b27-b14f-5e025db8b3e6 Дата обращения: 09.0.2026
6. Самоходные свеклоуборочные комбайны ROPA Tiger & Panther – Режим доступа: https://ропарусь.рф/наша-техника/ Дата обращения: 08.04.2026
7. Горизонт в два-три года. Перспективы рынка сельхозтехники зависят от процедуры омоложения – Режим доступа: https://www.eg-online.ru/article/483253/ Дата обращения: 08.04.2026
8. Перспективы развития сегмента спецтехники для уборки свеклы и картофеля. – Режим доступа: https://поле.рф/journal/publication/3450 Дата обращения: 08.04.2026
9. Свеклоуборочный Комбайн Техмаш Зубр КС-6. – Режим доступа: https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_51c15732-69cb-453d-926a-a7c1469c91a5 Дата обращения: 08.04.2026
10. Прицепной свеклоуборочный комбайн КС-6 «ЗУБР». – Режим доступа:https://www.belarusugservis.ru/akcii-gorjachie-predlozhenija/pricepnoi-svekloubo rochnyi-kombain-ks-6-.html Дата обращения: 08.04.2026

11. Капустин, В. П. Сельскохозяйственные машины: настройка и регулировка : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / В. П. Капустин, Ю. Е. Глазков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2010. – 195 с.

12. Михайлушкин, П. В. Развитие свеклосахарного производства и рынка сахара (теория и практика) : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности, в т.ч.: экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами; управление инновациями; региональная экономика; логистика; экономика труда; экономика народонаселения и демография; экономика природопользования; экономика предпринимательства; маркетинг; менеджмент; ценообразование; экономическая безопасность; стандартизация и управление качеством продукции; землеустройство; рекреация и туризм)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук / Михайлушкин Павел Валерьевич. – Москва, 2013. – 45 с. –

13. Уварова, М. Н. Современное состояние и перспективы развития рынка сахара и производства сахарной свеклы в России и мире / М. Н. Уварова, Н. В. Польшакова, С. Ю. Гришина // Современные научные исследования и разработки: состояние, проблемы, перспективы развития. – Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2026. – С. 110-130.

14. Глазков, Ю. Е. Сельскохозяйственные машины : Учебное пособие / Ю. Е. Глазков, В. П. Капустин. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2015. – 280 с. – (Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-010345-7. .

15. Комбайн свеклоуборочный Holmer Terra Dos T2 / T3. – Режим доступа: https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_ef0416f9-e1d5-4b27-b14f-5e025db8b3e6.

16. Наша техника. Свеклоуборочная техника ROPA. – Режим доступа: https://xn--80a1adcdgn7e.xn--p1ai/наша-техника/.

17. Горизонт в два–три года. Перспективы рынка сельхозтехники // Экономика и жизнь. – 2023. – Режим доступа: https://www.eg-online.ru/article/483253/ .

18. Заместить незаместимое // Поле.РФ. – Режим доступа: https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/3450 .

19. Свеклоуборочный комбайн «Техмаш ЗУБР КС-6» // АгроБаза. – Режим доступа: https://www.agrobase.ru/catalog/machinery/machinery_51c15732-69cb-453d-926a-a7c1469c91a5 .

20. Прицепной свеклоуборочный комбайн КС-6 «ЗУБР». – Режим доступа: https://www.belarusugservis.ru/akcii-gorjachie-predlozhenija/pricepnoi-sveklouborochnyi-kombain-ks-6-.html .

21. Машина корнеуборочная самоходная КС-6. – Режим доступа: https://xn----itbachmidudk6msa.xn--p1ai/mashina-korneuborochnaya-samoxodnaya-ks-6.html.

22. Корнеуборочные машины // Учебный материал. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/4071011/page:22/.

23. КС-6Б. Самоходная шестирядная корнеуборочная машина. – Режим доступа: https://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/tractor/tkz/mark/tkz-ks-6b .

24. Оскирко С. И. Свеклоуборочная техника на полях Беларуси. – Режим доступа: https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/8011/1/Oskirko-S-I-Sveklouborochnaya-tekhnika-na-polyah-Belarusi.pdf .

25. Первый российский самоходный свеклоуборочный комбайн будет представлен на АГРОСАЛОН // Mashportal.ru. – Режим доступа: https://www.mashportal.ru/news/company/81082 .

26. Первый российский самоходный свеклоуборочный комбайн // Agronews.com. – 2024. – Режим доступа: https://agronews.com/ru/ru/news/breaking-news/2024-09-10/58409 .

27. GRITAN планирует начать производство свеклоуборочных комбайнов // Fertilizer Daily. – 2024. – Режим доступа: https://www.fertilizerdaily.ru/20241001-gritan-planiruet-nachat-proizvodstvo-sveklouborochnyh-kombajnov/ .

28. Ставропольский GRITAN планирует начать производство комбайнов для уборки свёклы. – Режим доступа: https://expertsouth.ru/news/stavropolskiy-gritan-planiruet-nachat-proizvodstvo-kombaynov-dlya-uborki-svekly-/ .

29. Самоходный свеклоуборочный комбайн GRITAN – самая долгожданная техника на выставке // Вестник АПК. – Режим доступа: https://vestnikapk.ru/articles/partners/samokhodnyy-sveklouborochnyy-kombayn-gritan-samaya-dolgozhdannaya-tekhnika-na-vystavke/ .

30. Серийное производство российского свеклоуборочного комбайна начнётся в 2027 году // Поле.РФ. – Режим доступа: https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/seriiynoe-proizvodstvo-rossiiyskogo-sveklouborochnogo-kombaiyna-nachnetsya-v-2027-godu .

31. GRIMME REXOR 620/630. Техническая информация (каталог). – Режим доступа: https://polymya-agro.by/pdf/8-Rexor.pdf.
32. Инновационные направления развития сельскохозяйственной техники. – Режим доступа: https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/14056/1/innovacionnye-napravleniya-razvitiya-selskohozyajstvennoj-tekhniki.pdf.
33. Свеклоуборочные комбайны : каталог предложений. – Режим доступа: https://agriline.ua/ru/-/sveklouborochnye-kombayny--c204?page=3.
34. Смогли ли отечественные сельхозпроизводители занять ниши, оставленные западными компаниями // Росспецмаш. – Режим доступа: https://rosspetsmash.ru/rosspetsmash-v-smi/5750-spasibo-sanktsiyam-smogli-li-otechestvennye-selkhozproizvoditeli-zanyat-nishi-ostavlennye-zapadnymi-kompaniyami.
35. «Спасибо санкциям». Смогли ли отечественные сельхозпроизводители занять ниши, оставленные западными компаниями // Российская газета. – 24.02.2025. – Режим доступа: https://rg.ru/2025/02/24/tehnika-zashchity.html.
36. Комбайн свеклоуборочный навесной КСН-6-3. – Режим доступа: https://gomselmash.by/produktsiya/prochaya-tekhnika/kombayn-sveklouborochnyy-navesnoy-ksn-6-3/.

УДК 631.171:636
68.85.39: Механизация и электрификация в животноводстве

ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НАКОПИТЕЛЕЙ-ПИТАТЕЛЕЙ КОРНЕЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Пахомкин Андрей Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, аспирант
e-mail: pahomkinandre@yandex.ru

Брусенков Никита Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, бакалавр
e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru

Брусенков Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru

Сахарная свекла является высокоэнергетическим кормом для использования в животноводстве, который позволяет увеличить производство молочной и мясной продуктивности. Выращивание сахарной свеклы в целом повышает плодородие почвы и на фоне высокой культуры земледелия способствует росту урожайности других культур. Немаловажно экологическое значение сахарной свеклы. Высокое поглощение CO_2 уменьшает нарастание тепличного эффекта на планете. С одного гектара посадок сахарной свеклы вырабатывается более 1500000 литров кислорода, что значительно выше, чем вырабатывается лесом [1].

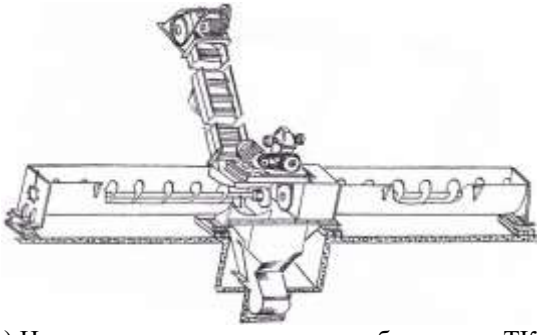
Так как сахарная свекла очень требовательна к плодородию почвы, то для нормального роста и развития ей необходимы благоприятные условия на протяжении всего вегетационного периода. Одним из таких путей по улучшению физико-химических свойств почвы, оптимальных условия питания и влагообеспеченности растений возможно при использовании полных сбалансированных доз органических и минеральных удобрений. Например, многочисленные опыты, проведенные Центром исследований по сельскому хозяйству земли Саксония (Лейпциг-Меккерн), показывают, что максимальный валовой доход часто достигается уже при внесении азота в дозах от 30 до 80 кг д.в./га. Дозы азотных удобрений свыше 100 кг д.в./га применяются только, если не внесены органические удобрения или запланирован очень высокий урожай, что приводит к высоким затратам на эту культуру самой при выращивании

В результате поверхностных обработок почвы, внесения в нее удобрений и других мероприятий, физико-химические свойства поверхностного слоя почвы значительно улучшаются. Однако, в процессе уборки корней сахарной свеклы и вывозки ее на свеклоприемные пункты сахарных заводов, корнеплодохранилища, в технологические линии приготовления кормов приводит к тому, что с

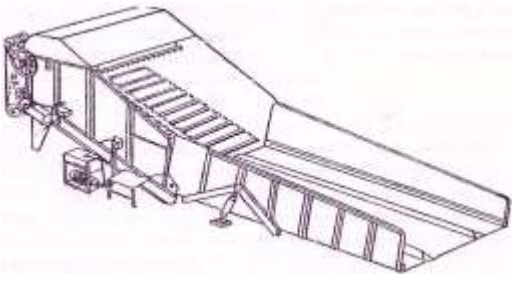
корнями вывозится обогащенный удобрениями плодородный слой почвы. Этот плодородный слой, как правило, складируется вблизи этих сооружений и не вывозится на поля. Кроме того, от массы почвы на корнях зависят затраты на их транспортировку к заводу, на хранение почвы и ее обратную транспортировку. В условиях Центрально-Черноземной зоны, когда период увеличения массы корнеплодов совпадает с периодом времени сильной переувлажнённости почвы (около 30%), добиться при уборке их качественной очистки комбайнами в соответствии с зоотехническими требованиями не представляется возможным [2, 3]. При последующей их очистке приводит к увеличению расхода воды в 2-2,5 раза и поломкам кормоприготовительных машин в животноводстве. Следовательно. по экономическим и экологическим причинам необходимо снижать процент почвы на корнях сахарной свеклы.

Важной составляющей технологической линии приготовления корнеплодов перед скармливанием животным являются накопители-питатели, обеспечивающие их дозированную подачу и выгрузку активными рабочими органами (шнеки, транспортеры, битеры и так далее) на следующую переработку. В зависимости от физико-механических свойств корнеплодов подача их к рабочим органам возможна самотеком (накопители-питатели ТК-5,0 ТК-5Б) или принудительно (ПБ-2М, ПБ-15, ПДК-Ф-1, ПДК-Ф-15-1, КТУ-10А) (рисунок 1). Основным недостатком накопителей-питателей ТК-5,0 и ТК-5Б является необходимость заглубления, что требует дополнительных затрат на строительно-монтажные работы и затрудняет техническое обслуживание [2, 4].

Транспортер корнеклубнеплодов ТК-5,0Б (рисунок 1, а) предназначен для приема, хранения и поочередной транспортировки кормов из приемных бункеров в мойку-корнерезку. Состоит из двух горизонтальных шнеков-питателей, приводной станции и наклонного скребкового транспортера. Приводная станция с электродвигателем мощностью 3 кВт съемная, и к шпекам-питателям ее крепят болтами.



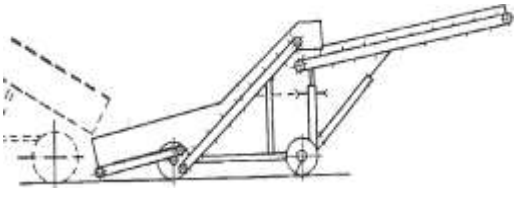
а) Накопитель-питатель корнеклубнеплодов ТК-5,0Б



б) Питатель-загрузчик кормов ПЗМ-1,5



в) Питатель-дозатор ПДК-Ф-15



г) Транспортер-загрузчик ТЗК-30А

Рисунок 1 – Накопители-питатели корнеплодов

Наклонный скребковый транспортер ТС-40К состоит из двухцепной транспортерной ленты с металлическими скребками, кожуха, приводной станции и приемной воронки. Решетчатое дно в кожухе способствует удалению комьев почвы, которые не отделяются от корнеклубнеплодов.

Механизм привода состоит из электродвигателя, червячного редуктора с клиноременной и цепной передачами. На выходных валах редуктора посажены звездочки со специальными муфтами. При вращении вала редуктора ролики от одной муфты автоматически вкатываются в клиновую щель (паз) и, заклиниваясь, передают крутящий момент шнека одного из питателей. Изменяя направление

вращения вала редуктора путем реверса, рабочая муфта расклинивается, а противоположная – включается и передает вращение другому питателю.

Каждый шнек-питатель устанавливают в нижней части бункера. Желоб каждого шнека-питателя сверху открыт. Транспортер ТС-40К располагают так, чтобы его приемная воронка находилась между скатными направляющими козырьками шнеков-питателей.

Бункера загружают самосвалами. Наличие двух шнеков-питателей и соответственно двух бункеров позволяют загружать в один бункер свеклу, а в другой картофель (морковь), благодаря чему облегчается составление рационов. Первым включается наклонный скребковый транспортер ТС-40К, вторым – один из шнеков-питателей. При включении шнека корнеклубнеплоды захватываются его витками и по направляющему козырьку скатываются в скребковый транспортер ТС-40К, который транспортирует их в мойку-корнерезку. Остановку проводят в обратной последовательности. Для обеспечения стабильной производительности транспортера ТК-5Б каждый его бункер должен быть наполнен не менее чем на 1/3. Транспортер корнеклубнеплодов ТК-5 выполняет те же операции, что и ТК-5Б. Отличается наличием только одного питателя и приводным механизмом.

Несмотря на то, что накопители-питатели ТК-5Б и ТК-5,0Б, при определённых условиях могут выполнять функцию дозирующих устройств или выравнивателей потоков, но они не обеспечивают требуемую точность подачи. Кроме того, опыт эксплуатации показал, что производительность транспортёров корнеклубнеплодов типа ТК-5, равная 5 т/ч, недостаточна для работы с измельчающими машинами АПК-10А, ИКМ-Ф-10 и другими, имеющими производительность 10 т/ч и не регулируется в нужных пределах. Данные типы транспортеров неработоспособны при перемещении крупных корнеклубнеплодов из-за недостаточных размеров горизонтального шнека, а в бункере зачастую образуются своды. Кроме того, транспортеры часто выходят из строя в результате того, что привод горизонтального шнека приёмного бункера расположен на глубине 2,5…3 метра и оказывается в воде, особенно в хозяйствах с близкими подпочвенными водами.

В линиях кормоцехов для дозированной подачи на смешивание грубых кормов, силоса, жома и других кормов нашел питатель-загрузчик ПЗМ-1,5 (рисунок 1, б). Основные сборочные единицы: приемный лоток, который поднимается гидроцилиндрами 2, наклонный конвейер 7, выравнивающий (счесывающий) верхний битер 6 и распределительный нижний, кулисный механизм для изменения скорости движения цепочно-планчатого конвейера и выгрузной винтовой конвейер. Привод конвейеров и битеров осуществляется электродвигателем 5. Насос гидросистемы имеет автономный электродвигатель. Лоток поднимается по мере забора с него массы корма цепочно-планчатым конвейером. Максимальный угол подъема лотка 70^0. Поток корма требуемой производительности формируется на цепочно-планчатом конвейере по высоте, соответствующей установке выравнивающего битера и скорости цепи конвейера. По мере движения массы распределительный (нижний) битер «фрезерует» ее, направляя в выгрузной конвейер либо непосредственно на сборный конвейер (при управлении кожуха винтового конвейера). Величина подачи кормов регулируется в широких пределах и может устанавливаться путем замены звездочки привода конвейера с числом зубьев 11, 20, 30. Наличие лотка позволяет принимать корм с автосамосвалов и не требует дополнительной зачистки площадки. Установлено, что подпор массы, создаваемый лотком, способствует улучшению равномерности ее подачи.

Более совершенны стационарные питатели-дозаторы ПДК-Ф-1 и ПДК-Ф-15 – для их установки не требуется больших капитальных вложений, и их можно расположить на любой горизонтальной поверхности (рисунок 1, в). Из их недостатков можно выделить следующие: не мобильность; при выгрузке корнеплодов из самосвальной тележки в лоток при его поднятии велика вероятность попадания посторонних предметов и почвенных примесей, которые могут привести к забиванию и поломке выгрузного шнека и других рабочих органов приготовительного оборудования технологической лини и увеличить расход воды на моечные работы. Питатель-дозатор ПДК-Ф-15 устроен он следующим образом. На раме шарнирно закреплен лоток, в который самосвальным транспортером загружаются корнеклубнеплоды. лоток при помощи двух гидроцилиндров поднимается на угол до 60^e. Корнеклубнеплоды, перемещаясь под собственным весом, захватываются шнеком и дозированно подаются далее по технологии. Аналогично устроен питатель ПКЖ-Ф-15.

Наиболее рациональной является схема, в приемном отделении которой установлен транспортер-загрузчик ТЗК-30А, который представляет собой самоходную электрифицированную машину на пневматическом ходу, предназначенную для приема корнеклубнеплодов из самосвальных транспортных средств и подачи их на высоту до 6 метров (рисунок 1, г). Состоит из установленного на раме приемного бункера, оборудованного двумя гидроцилиндрами для подъема его в транспортное положение. Скорость полотна подвижного дна бункера регулируется для изменения подачи продукта. Подъемный транспортер принимает продукт с подвижного дна бункера и подает его к разгрузочному

транспортеру. Для предотвращения скатывания корнеклубнеплодов прорезиненная лента транспортера снабжена резиновыми лопастями.

Бункер-питатель КТУ-10А – стационарная модификация передвижного кормораздатчика КТУ-10 предназначен для приема и дозированной подачи измельченных грубых и сочных кормов в технологических линиях кормоцеха. Основные сборочные единицы: рама; днище с продольным транспортером; кузов вместимостью 9 м^3; блок битеров; поперечный транспортер; система электропривода. Сочные корма в бункер загружаются автосамосвалом или прицепами. При включении электропривода приводной вал продольного транспортера получает пульсирующее движение через кривошипно-шатунный, храповый механизмы и цепную передачу. При этом продольный транспортер подает загруженную в бункер кормовую массу к битерам, которые, вращаясь, разрыхляют ее и подают на поперечный транспортер. Норму выдачи регулируют изменением величины подачи транспортера за один импульс, достигаемый изменением числа зубьев храпового колеса, входящих в зацепление с толкающей собачкой механизма привода.

Кормоприемник-питатель КП-10 предназначен для приема зеленой массы, силоса и корнеклубнеплодов из транспортных средств п равномерной подачи (до 5 т/ч) ее в измельчитель. Он состоит из сварной рамы, на которой установлены нижний горизонтальный транспортер, шесть боковин бункера вместимостью 5 м^3 и шнек. В бункере к передним боковинам на кронштейнах перед шнеком крепится дозирующий отбивной транспортер, с помощью которого регулируют производительность кормоприемника-питателя. На раме этого транспортера смонтированы три замкнутых роликовых цепи с шагом 38 мм. К цепям в шахматном порядке прикреплены очесывающие планки. Доставленные корма (массой до 3 т) самосвалом поступают в бункер-питатель, оттуда со скоростью 0,013...0,014 м/с перемещаются горизонтальным транспортером к выгрузному шнеку. Дозирование кормовой массы осуществляется изменением скорости цепи отбивного транспортера (0,64...0,72 м/с) и высоты подаваемого слоя. Шнек выгружает корм в приемную воронку транспортера загрузки кормов и подает его скребками (со скоростью 0,5 м/с) на питающий транспортер измельчителя сочных кормов. Производительность КП-10 регулируют изменением зазора между нижним подающим и отбивным транспортерами. Угол наклона отбивного транспортера изменяют винтовыми парами.

На основе практического опыта эксплуатации накопителей-питателей корней сахарной свеклы нами предлагается следующая конструктивно-технологическая схема (рисунок 2).

Для решения данной технической задачи предлагается простая конструкция накопителя-питателя, представляющего собой прицепной двухосный рамный прицеп с передней поворотной осью *1* и цельнометаллическим прямоугольным бункером *2*. Нижняя часть бункера *2* прицепа имеет днище усеченной конической формы, в которой расположен горизонтальный цепочно-скребковый продольный транспортер *3* и трапециевидный желоб *4* для сбора почвенных примесей с механическим затвором *5* открытия (закрытия). Сзади к раме прицепа шарнирно крепится наклонный цепочно-скребковый транспортер *6*, в нижней части кожуха которого расположен лотковый затвор *7* с механическим приводом открытия (закрытия). Изменение положения наклонного цепочно-планчатого транспортера *6* осуществляется двумя гидроцилиндрами *8* из кабины трактора. Натяжение тяговых органов цепочно-планчатых транспортеров *3* и *6* производится раздельно друг от друга с помощью натяжных устройств *9*, имеющих одинаковую конструкцию и включающих в себя болт с ушком, шайбу и две фиксирующие гайки. Привод транспортеров *3* и *6* – независимый друг от друга, и осуществляется из кабины трактора с помощью планетарных гидромоторов *10* типа МГП. Для регулирования потока корнеклубнеплодов с горизонтального *3* на наклонный *6* цепочно-планчатые транспортеры, предназначен механический затвор *11*.

Технологический процесс осуществляется следующим образом. Корнеклубнеплоды фронтальным погрузчиком загружаются в бункер *2* накопителя-питателя и доставляются трактором на линию приготовления. Тракторист задним ходом подъезжает к мойке-измельчителю, с помощью гидроцилиндров *8* совмещает выгрузное окно наклонного транспортера *6* с загрузочным окном мойки-измельчителя (на фигурах не показана), плавно начинает приоткрывать затвор *11* и включает приводы горизонтального *3* и наклонного *6* транспортеров. Корнеклубнеплоды под собственным весом начинают постепенно и равномерно перемещаться по всей длине наклонной стенки бункера *2* вниз, захватываются скребками горизонтального транспортёра *3* и подаются в нижнюю часть наклонного транспортёра *6*, захватываются его скребками, перемещаются вверх и под действием сил тяжести падают вниз в загрузочное окно мойки-измельчителя. Почвенные примеси по окончании работу выгружают через затворы *5* и *7*.

Данный накопитель-питатель отличается надежностью и простотой в обслуживании, обеспечивает эффективную очистку корнеклубнеплодов от различных почвенных примесей, что позволит повысить его эксплуатационную надёжность, а также качество готового корма при минимальных энергетических и трудовых затратах на транспортно-выгрузные работы.

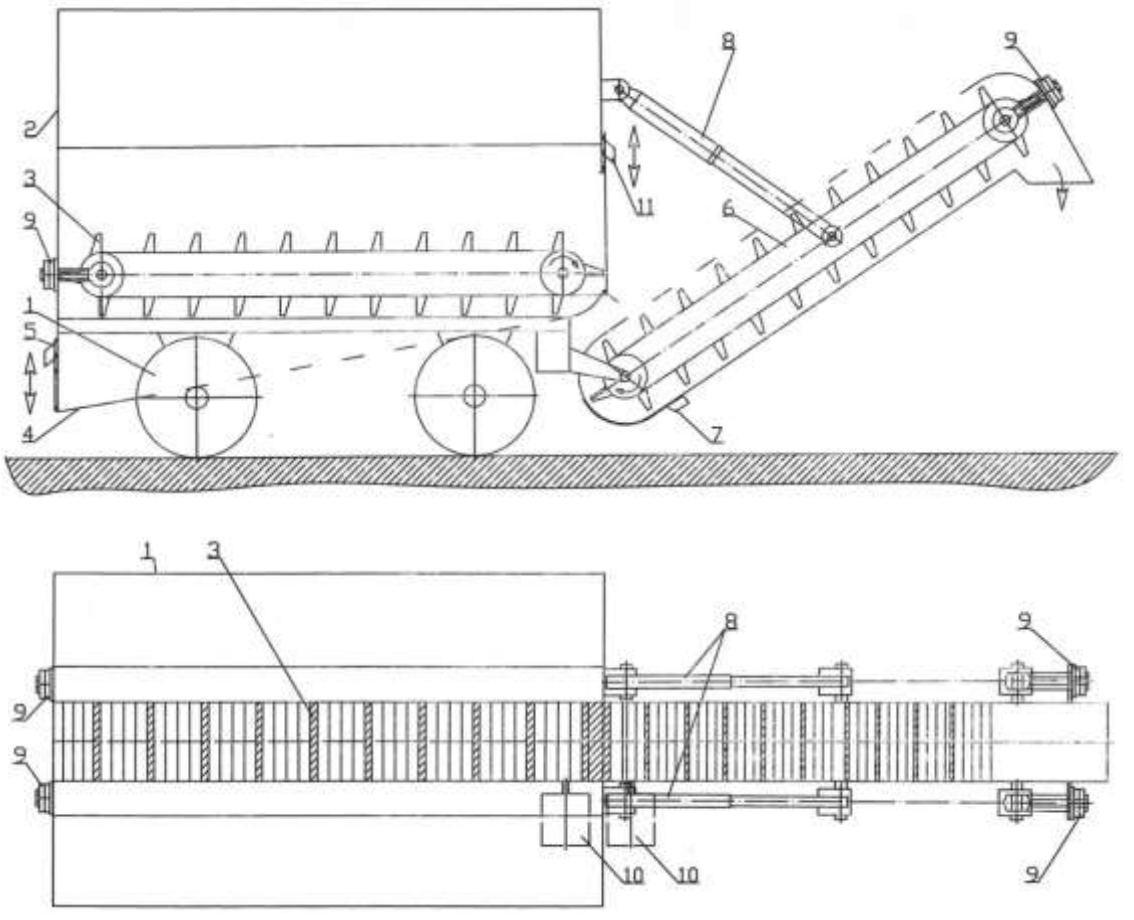


Рисунок 2 – Предлагаемый накопитель-питатель корнеклубнеплодов

Вывод. В поточных линиях приготовления и раздачи кормов, загрузки сушильных установок, сенажных башен и других хранилищ установлены питатели-дозаторы. Они обеспечивают прием кормов из транспортных средств, накопление и дозированную подачу их в соответствующие машины поточных линий. Использование питателей-дозаторов позволяет компенсировать неравномерность поступления кормов, повысить производительность и надежность функционирования поточных линий. С их помощью обеспечивается формирование необходимого соотношения компонентов в кормосмесях, дозирование количества кормов, раздаваемых каждой группе животных. Поэтому от технического совершенства этих машин зависит не только производительность поточных линий, но и качество смешивания и точность выдачи кормов.

Список использованных источников

1. Высокая прибыль от сладкого корня. Центр агроинженерных решений ЛБР-ГРУПП, 2005. – 72 с.

2. Брусенков, А.В. Технологии и средства приготовления корнеклубнеплодов для скармливания крупному рогатому скоту: монография / А.В. Брусенков, В.П. Капустин. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 140 с.

3. Кузнецов, П.Н. Совершенствование технологии и техническое средство для очистки сахарной свёклы в условиях повышенной влажности и почвы: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 // Кузнецов Павел Николаевич – Мичуринск-наукоград, 2015. – 149 с.

4. Коваленко, В.П. Технологические комплексы машин для приготовления кормов: учебное пособие / В.П. Коваленко, И.М. Петренко. – Изд-во КГАУ: Краснодар, 2000. – 170с.

УДК 631.171
68.85.01: Общие вопросы

ОБОСНОВАНИЕ ВМЕСТИМОСТИ БУНКЕРА НАКОПИТЕЛЯ-ПИТАТЕЛЯ КОРНЕЙ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Пахомкин Андрей Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, аспирант
e-mail: pahomkinandre@yandex.ru

Брусенков Никита Алексеевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, бакалавр
e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru

Брусенков Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: aleksei_brusenkov@mail.ru

Корни сахарной свеклы (корнеплоды) в рационе кормления крупного рогатого скота (КРС) являются высокоэффективным источником увеличения молочной и мясной продуктивности. Скармливание корней сахарной свеклы положительно влияет на процессы перевариваемости, стимулирует лактацию, обеспечивает рационы необходимым количеством сахара. В хозяйствах с высокой молочной продуктивностью коров доля корнеплодов в сочных кормах достигает от 40 до 50% [1, 2]. Научно доказано, что наиболее целесообразно скармливать корни сахарной свеклы в составе полнорационных кормосмесей, в частности, в составе комбинированного силоса, организация производства которого радикально решает проблему длительного хранения самых разнообразных сочных кормов.

В рационах кормления КРС применяется много различных компонентов, в связи с чем, процесс кормоприготовления в настоящее время отработан не до конца, так как его довольно трудно механизировать одной машиной. Для механизации производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах используют различные машины и оборудование, которые служат для выполнения различных операций: транспортировки с поля на линию приготовления или к месту хранения, мойке (сухой или влажной), подготовки к измельчению, выгрузке в кормораздатчик, смешиванию и раздачи КРС [3,4,5]. Одной из важнейших технологических операций является транспортировка корней сахарной свеклы с поля на линию приготовления или к месту хранения.

Предлагаемая нами конструкция накопителя-питателя представляет собой прицепной двухосный рамный прицеп с передней поворотной осью и цельнометаллическим прямоугольным бункером, нижняя часть которого имеет днище усеченной конической формы, в которой расположен горизонтальный цепочно-скребковый продольный транспортер с трапециевидным желобом для сбора почвенных примесей, а сзади к раме прицепа шарнирно крепится наклонный цепочно-скребковый транспортер. Данный накопитель-питатель отличается надежностью и простотой в обслуживании, обеспечивает эффективную очистку корнеплодов от различных почвенных примесей, что позволит повысить его эксплуатационную надёжность, а также качество готового корма при минимальных энергетических и трудовых затратах на транспортно-выгрузные работы.

Одним из основных конструктивных параметров передвижного питателя-дозатора является объём бункера, при определении которого большую долю занимает объёмная масса загружаемых в него корней сахарной свеклы. При этом масса корней сахарной свеклы, перевозимых в бункере питателя-дозатора должно быть равно или кратно массе корней, необходимых для разового кормления поголовья КРС, находящихся в одном животноводческом помещении:

$$q_i = q_{\text{раз}} \cdot m_g \cdot \rho_{\text{г}} \cdot \varphi_{\text{Б}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{раз}}$ −разовая норма выдачи корнеплодов на одну голову, т; m_g − число животных на ферме, гол.; $\rho_{\text{г}}$ −объёмная масса корнеплодов в бункере, т/м³; $\varphi_{\text{Б}}$ −коэффициент заполнения объёма бункера питателя-дозатора, зависящий от его формы, размеров и способа заполнения. Согласно рекомендациям [1,6] $\varphi_{\text{Б}} = 0{,}8 \ldots 0{,}95$.

Тогда необходимую массу корней, размещаемую в бункере питателя-дозатора, определяем как, [т]:

$$q_i = V_{\text{Б}} \cdot \rho_{\text{г}} \cdot \varphi_{\text{Б}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{Б}}$ −объём бункера питателя-дозатора корнеплодов, м³;

Сопоставив уравнения (1) и (2), вычисляем необходимый объем бункера питателя-дозатора, м³:

$$V_{\text{Б}} = \frac{q_{\text{раз}} \cdot m_g \cdot \varphi_{\text{Б}}}{\rho_{\text{г}}}. \quad (3)$$

Ширину и высоту бункера питателя-дозатора выбираем с учётом составных элементов кормоцеха или животноводческого помещения (ширины и высоты ворот, внутренних размеров помещения, расстояния между кормушками, высоты разгрузки/загрузки и других факторов), в которых он будет работать. Исходя из конструктивных размеров и бункера питателя-дозатора можем определить его минимальную длину по формуле:

$$L_{\text{Б}} = \frac{V_{\text{Б}}}{\text{В}_{\text{Б}} \cdot \text{Н}_{\text{Б}}}, \quad (4)$$

где $\text{В}_{\text{Б}}$ −ширина бункера питателя-дозатора, м; $\text{Н}_{\text{Б}}$ −высота бункера питателя-дозатора, м.

Число полных циклов работы питателя-дозатора для выдачи суточной нормы (по рациону) корнеплодов:

$$k_{\text{Ц}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{Q_{\text{Ц}}} = \frac{m_g \cdot k_{\text{сут}}}{V_{\text{Б}} \cdot \rho_{\text{г}} \cdot \varphi_{\text{Б}}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{сут}}$ −суточная норма выдачи корнеплодов всем животным, кг; $Q_{\text{ц}}$ −количество корнеплодов, подлежащих обработке на одно кормление, кг; $k_{\text{сут}}$ −суточная норма выдачи корнеплодов одному животному, кг;

Объемную массу предварительно приготовленного корней сахарной свеклы определяем по выражению [1,6]:

$$\rho_{\text{г}} = \frac{\sum_{i=1}^{l} \rho_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{i} P_i}, \quad (6)$$

где l −количество видов кормов, обрабатываемых в питателе-дозаторе; ρ_i − объёмная масса насыпного *i*-го корма (корнеплодов), т/м³; P_i −масса соответствующего вида корма (корнеплодов), т.

Зная режим кормления, время его начала и распределения суточного рациона, можем определить количество каждого вида корма, подлежащего обработке к началу каждого кормления.

Питатель-дозатор предназначен для транспортировки корней сахарной свеклы с мест хранения (или складирования) и их выгрузки в корнеклубнемоечную машину. Причем его можно одновременно рассматривать и как накопитель и как регулирующую ёмкость, то есть приёмные устройства, которые должны обеспечивать работу технологической линии (или кормоцеха) без перебоев подачи исходных кормов. На их объём влияют следующие факторы: климатические условия зоны; вид транспортных средств, используемых для доставки; физико-механические свойства кормов и организация труда обслуживающего персонала. Объём накопителей определяем по выражению:

$$V_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{Ц}} \cdot k_{\text{ЗАП}}}{\rho_{\text{г}} \cdot \varphi_{\text{Б}}}, \quad (7)$$

где $k_{\text{ЗАП}}$ −коэффициент запаса, для корнеплодов равный 1,3 [1, 6];

Общая производительность питателя-дозатора складывается из производительностей горизонтального (Q_1) и наклонного (Q_2) цепочно-скребковых транспортёров [7, 8]:

$$Q_{\text{ПД}} = Q_1 + Q_2. \quad (8)$$

Производительность горизонтального (Q_1) цепочно-скребкового транспортера можем определить по выражению, (кг/сек):

$$Q_1 = \psi \cdot k_2 \cdot h_C^2 \cdot \vartheta_{\text{Ц}} \cdot \rho_i, \quad (9)$$

где ψ −коэффициент заполнения желоба корнеплодами. Согласно источнику [9] при открытом желобе (ψ) принимается не более 0,5, а при закрытом – 0,9; k_2 −коэффициент пропорциональности длин рёбер призмы-скребка [9], равный $k_2 = \frac{B_C}{h_C}$, где B_C −ширина скребка, м; h_C − высота скребка, м; $\vartheta_{\text{Ц}}$ −скорость цепи, м/сек.

Проведенные экспериментальные исследования на корнях сахарной свеклы позволили выявить, что оптимальную скорость цепи рекомендуется выбирать от 0,1 до 0,5 м/сек при высоте скребка 0,07…0,075 м и его ширине, равной 0,38 м [9].

Из формулы (8) можно определить рабочие размеры скребков – ширину и высоту:

$$B_C = \sqrt{\frac{Q_1 \cdot k_2}{\psi \cdot \vartheta_{\text{Ц}} \cdot \rho_i}}. \quad (10)$$

$$h_C = \sqrt{\frac{Q_1}{\psi \cdot k_2 \cdot \vartheta_{\text{Ц}} \cdot \rho_i}}. \quad (11)$$

Высоту скребка принимают на 25…50 мм больше высоты желоба $(h_{\text{ЖЕЛ}})$.

Расстояние между скребками (t_C) рекомендуется выбирать больше основания скребка транспортируемых корнеплодов по выражению [9], м:

$$t_C = (3 \dots 6) \cdot h_C. \quad (12)$$

При работе цепочно-скребкового транспортера каждый скребок транспортирует порцию корней сахарной свеклы, которую с некоторым приближением можно принять за призму с основанием прямоугольной трапеции [9,10]. Тогда, согласно рисунку 1, объём порции корней сахарной свеклы, перемещаемых одним скребком, можно определить по формуле:

$$i = k_2 \cdot h_C^2 \cdot \psi \cdot k_П, \quad (13)$$

где i −объём порции корнеплодов, перемещаемых одним скребком, м³; $k_П$ −коэффициент, учитывающий изменение производительности при угле подъема (β) транспортёра, который согласно [9] можем принять:

$$k_П = 1 - (0{,}01 \dots 0{,}02) \cdot \beta. \quad (14)$$

Согласно рисунку 1 можем записать уравнение длины нижнего основания трапеции (l)::

$$l = l_1 + h_C \cdot ctg\varepsilon, \quad (15)$$

где l_1 −длина верхнего основания трапеции, м; ε −угол обрушения (осыпания) транспортируемых корнеплодов, град. Значение угла (ε) рекомендуется принимать равным 0,7…0,8 от угла естественного откоса корнеплодов, находящихся в покое [9], то есть в состоянии покоя угол обрушения находиться в интервале от 28 до 32^0, а в движении – от 20 до 24^0 [10, 11].

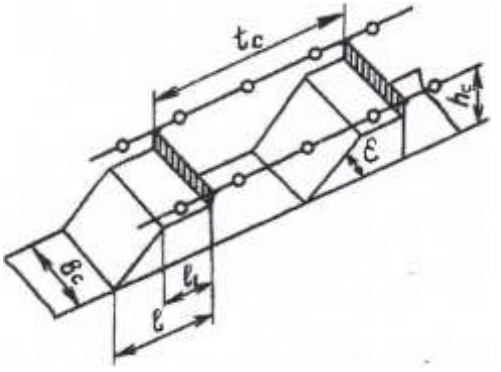


Рисунок 1 – Схема к расчету конструктивных параметров бункера питателя-дозатора

Длина верхнего основания трапеции:

$$l_1 = h_C \cdot k_2, \quad (16)$$

Учитывая, что $b_Ж = h_Ж \cdot k_2$, где $h_Ж$ −внутренняя высота желоба, м; $b_Ж$ −внутренняя ширина желоба, м, можно записать:

$$h_Ж = \sqrt{\frac{Q_1}{k_2 \cdot k_П \cdot \vartheta_Ц \cdot \rho_i \cdot \psi}}. \quad (17)$$

Представленная методика позволяет более точно рассчитать ширину и высоту скребков, а также внутренние ширину и высоту желоба. Это позволить сохранить устойчивую работоспособность транспортеров.

Производительность наклонного (Q_2), (кг/сек), цепочно-скребкового транспортера определяем из выражения:

$$Q_2 = \frac{b_Ж \cdot h_C^2 \cdot \vartheta_к \cdot \rho_I \cdot ctg\varepsilon}{2 \cdot t_C}, \quad (18)$$

где $\vartheta_К$ −скорость цепи наклонного транспортёра, м/сек.

Общую мощность, необходимую для привода рабочих органов питателя-дозатора определяем по формуле:

$$N_{ПД} = N_1 + N_2 + N_3, \quad (19)$$

где N_1 −мощность, расходуемая на преодоление сопротивлений, связанных с перемещением корней сахарной свеклы по горизонтальному цепочно-планчатому транспортеру внутри бункера питателя-дозатора, Вт; N_2 −мощность, расходуемая на преодоление сопротивлений, связанных с перемещением корней сахарной свеклы по наклонному цепочно-планчатому транспортеру, Вт; N_3 −мощность, расходуемая на холостой ход, Вт.

Мощность, расходуемую на преодоление сопротивлений, связанных с перемещением корнеплодов по горизонтальному цепочно-планчатому транспортеру внутри бункера питателя-дозатора (Вт), зависит от:

- тягового усилия на приводной звёздочке горизонтального цепочно-планчатого транспортера;
- коэффициента, учитывающего потери на приводной звездочке;
- КПД цепной передачи с учетом потерь в подшипниках.

Мощность, расходуемая на преодоление сопротивлений, связанных с перемещением корней сахарной свеклы по наклонному цепочно-планчатому транспортеру внутри бункера питателя-дозатора, зависит от (Вт):

- тягового усилия на приводной звёздочке наклонного транспортера, Н;
- коэффициента, учитывающего потери на приводной звездочке;
- КПД цепной передачи с учетом потерь в подшипниках.

Мощность, расходуемая на холостой ход, зависит от:

- коэффициента сопротивления движущихся частей транспортера (для безроликовых цепей он составляет 0,15…0,2; для роликовых – 0,1…0,12), [9];
- нагрузки на один метр длины цепочно-скребкового транспортера, кг/м;
- длины транспортера, м;
- скорости цепи. м/сек.

Тогда, окончательно формулу (19) можно записать следующим образом:

$$N_{\text{ПД}} = \frac{W_{\text{тр}}^{\text{г}} \cdot \upsilon_{\text{Ц}} \cdot k_{\text{пот}}}{\eta} \pm \frac{W_{\text{тр}}^{\text{н}} \cdot \upsilon_{\text{Ц}} \cdot k_{\text{пот}}}{\eta} + 2 \cdot \omega_{\text{1}} \cdot M_{\text{Ц}} \cdot L_{\text{тр}} \cdot \upsilon_{\text{Ц}}. \quad (20)$$

В уравнении (20) первый член выражает потребную мощность на перемещение корнеплодов по горизонтали, второй – мощность на транспортирование их по вертикали (вверх – знак «плюс», вниз – знак «минус»), третий – мощность на холостой ход транспортера.

Эффективность процесса транспортирования корней сахарной свеклы питателем-дозатором можно оценить показателем удельного расхода энергии [13]:

$$N_{\text{УД}} = \frac{N_{\text{ПД}}}{Q_{\text{ПД}}}. \quad (21)$$

Энергоемкость процесса транспортирования корнеплодов определяем по формуле, [Дж·м/кг]:

$$\text{Э} = \frac{N_{\text{ПД}}}{Q_{\text{ПД}} \cdot (L^{/} \cdot 2)}, \quad (22)$$

где $L^{/}$ –общая длина транспортирования корнеплодов питателем-дозатором, м.

Список использованных источников

1. Брусенков, А.В. Технологии и средства приготовления корнеклубнеплодов для скармливания крупному рогатому скоту: монография / А.В. Брусенков, В.П. Капустин. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 140 с.

2. Боярский, Л.Г. Технология кормов и полноценное кормление сельскохозяйственных животных / Л.Г. Боярский. – Ростов н/Дону: Феникс, 2001. – 416с.

3. Брусенков, А.В. Эксплуатация машин и оборудования для приготовления и раздачи кормов в животноводстве / А.В. Брусенков, А.С. Пилягин // Теоретические и практические аспекты развития науки и образования в современном мире 16 мая 2017 года (г. София, Болгария). – Научно-издательский центр «Мир науки». – 2017. – С.50-58.

4. Ведищев, С.М. Механизация приготовления кормов: учебное пособие (в двух частях) / С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Брусенков [и др.]. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – Ч.1. – 135с.

5. Ведищев, С.М. Механизация приготовления коромв: учебное пособие (в двух частях) / С.М. Ведищев, В.П. Капустин, Ю.Е. Глазков, А.В. Брусенков [и др.]. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – Ч.2. – 126с.

6. Щедрин, В.Т. Механизация приготовления кормов: учебное пособие / В.Т. Щедрин, С.М. Ведищев. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1998.–140 с.

7. Пат. №2767617 РФ, МПК A23N 17/00, A01K 5/02. Технологическая линия для приема и обработки корнеклубнеплодов / А.В. Брусенков, Н.П. Пучков. – №2021119970; заяв. 07.07.2021; опубл. 18.03.2022. Бюл. №8.

8. Пат. №2767618 РФ, МПК A01K 5/00, A23N 17/00. Накопитель-питатель корнеклубнеплодов/ А.В. Брусенков, Н.П. Пучков. – №2021119983; заяв. 07.07.2021; опубл. 18.03.2022. Бюл. №8.

9. Красников, В.В. Подъёмно-транспортные машины / В.В. Красников, В.Ф. Дубинин и другие; 4-е изд. доп. и перераб. – М. Агропромиздат, 1987. – 272с.
10. Лившиц, Ю.Л. Передвижные тракторные раздатчики кормов / Ю.Л. Лившиц. – М.: Машиностроение, 1966. – 87 с.
11. Кукта, Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303с.
12. Калашников, А.П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисинина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. – Москва, 2003. – 456 с.
13. Коцюба, В.П. Лабораторный практикум по механизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ / В.П. Коцюба. – М.:машиностроение, 1996. – 191с.

УДК 637.1

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ САНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОЧНЫХ ЕМКОСТЕЙ МЕТОДОМ КОМБИНИРОВАННОГО РАСПЫЛЕНИЯ УЛЬТРАМАЛОГО ОБЪЕМА РЕАГЕНТОВ И ОЗОНИРОВАНИЯ

Поликарпов Андрей Александрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Катаев Иса Хучейнович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Павлов Анатолий Григорьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Агроинженерич»
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Традиционные технологии санитарной обработки емкостей сбора, хранения и транспортирования молока в условиях малых фермерских хозяйств базируются на гидродинамических методах циркуляционной промывки под давлением или термической обработке паром, что обусловливает высокое удельное потребление воды, моющих и дезинфицирующих реагентов, а также значительные затраты тепловой и электрической энергии [1, 2]. В условиях дефицита пресных водных ресурсов и ужесточения экологических нормативов на сброс производственных стоков приоритетным вектором развития становится внедрение прецизионных ресурсосберегающих технологий нанесения санитарных сред ультрамалым объемом (УМО) в аэрозольной фазе в сочетании с газодисперсионным озонированием [3].

Конструктивно-технологическая основа предлагаемого подхода реализована в разработанной комплексной моечной установке (КМУ), объединяющей модули подготовки рабочих сред, ультразвуковой туманогенерации, озоновой дезинфекции и вакуумной рекуперации отработанной жидкости. Установка предназначена для обработки внутренних и наружных поверхностей бидонов, фляг, доильных ведер и малогабаритных танков-охладителей вместимостью до 300 л. Принципиальное отличие КМУ от промышленных аналогов заключается в замкнутом контуре транспортирования отработанной жидкости и опциональном применении экологически безопасных рецептур на основе растительных экстрактов, что позволяет радикально сократить материальные потоки и минимизировать химическую нагрузку на окружающую среду [4, 5].

Экспериментальная верификация технологического регламента проводилась в сравнении с серийными образцами компаний SANEQ Industrial (T-1500 Barrel Washer) и FELETI (Lurea KEF/KSF). Производственные испытания подтвердили, что применение УМО-распыления с медианным диаметром частиц 0,05–0,1 мкм в сочетании с озонированной водой (концентрация растворенного озона 10–16 мг/м³) обеспечивает нормативный уровень деконтаминации при экспозиции 4–12 мин и температуре дисперсной фазы 40–60 °С Сводные технические характеристики сравниваемых установок приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные технические характеристики образцов

Параметр	T-1500 Barrel Washer	Lurea KEF/KSF	КМУ
Габаритные размеры (В×Ш× Г), мм	1740×2400×1600	1800×1200×1800	1000×500×1050
Объем обрабатываемой емкости, л	200	250	300
Мощность моечной помпы, кВт	11–37	5,5	3
Расход воды, л/мин	16	30	6
Тип дезинфекции	Отсутствует	Струйная	Дисперсная система (УМО + озон)

Производительность моечных машин П в год определяется с учетом вероятности повторной обработки при отсутствии этапов предварительной очистки или дезинфекции по зависимости:

$$П = \frac{(Д \cdot T_р)}{\sum t_i \cdot (1 + k_д + k_{по})} \quad (1)$$

где Д – количество рабочих дней в году; $T_р$ – время работы установки в течение дня, ч; t_i – продолжительность этапа обработки за один цикл, ч; $k_д$, $k_{по}$ – коэффициенты вероятности повторной мойки [4]. Расчет показывает, что производительность КМУ составляет 23807 шт./год (2409,6 л/ч), что на 3,8–7,8 % превышает показатели аналогов благодаря сокращению технологического цикла до 5 мин на одну емкость объемом до 200 л.

Годовые операционные затраты З складываются из расходов на электроэнергию, водные ресурсы и моюще-дезинфицирующие реагенты. Структура эксплуатационных затрат представлена в таблице 2.

Таблица 2

Структура годовых эксплуатационных затрат, руб.

Наименование показателя	T-1500 Barrel Washer	Lurea KEF/KSF	КМУ
Затраты электроэнергии	393442,4	393442,4	338538,3
Затраты на электроэнергию в режиме УМО	0	0	45,7
Затраты на расход моющей жидкости	85515,0	160340,5	32068,1
Затраты на расход реагентов	34113,7	63963,1	12792,6
ИТОГО	516145,7	620820,6	386080,1

Из таблицы 2 видно, что внедрение КМУ позволяет снизить затраты на электроэнергию на 25,2–37,8 %, а на водные ресурсы и реагенты – на 62,5–80 % по сравнению с традиционными методами. Экономический эффект от внедрения установки в год определяется как разность эксплуатационных затрат аналога и КМУ, а срок окупаемости капитальных вложений $T_{ок}$ рассчитывается по зависимости:

$$T_р = \frac{K_{вл}}{(З_{аналог} - З_{КМУ})} \quad (2)$$

где $K_{вл}$ – стоимость приобретения и ввода в эксплуатацию КМУ, руб. Расчетные показатели подтверждают экономическую целесообразность использования разработанной технологии: годовой экономический эффект составляет 130065,6–234740,5 руб., а срок окупаемости капиталовложений – 0,4–0,8 года (5–10 месяцев).

Кроме экономических показателей, важным аспектом внедрения КМУ является обеспечение надежности и долговечности оборудования в условиях агрессивных сред. Ключевые узлы установки, включая ультразвуковые излучатели и озонаторные модули, выполнены из коррозионностойких сплавов и полимерных композитов, что гарантирует стабильную работу при циклических нагрузках и контакте с щелочными/кислотными моющими составами. Срок службы основных агрегатов составляет не менее 5 лет при соблюдении регламента технического обслуживания, включающего ежемесячную калибровку датчиков давления и температуры, а также замену фильтрующих элементов первичной очистки. Внедрение системы предиктивной диагностики на базе виброакустического мониторинга позволяет своевременно выявлять отклонения в работе насосного оборудования и ультразвуковых генераторов, предотвращая аварийные остановки и снижая затраты на внеплановый ремонт.

Важным направлением модернизации комбинированной моечной установки является интеграция элементов цифровизации и автоматизированного управления. Контроллер на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК) обеспечивает точное поддержание заданных параметров технологического цикла: температуры рабочей среды (±1 °C), концентрации озона (±0,5 мг/м³) и времени

экспозиции. Возможность подключения установки к локальной сети фермерского хозяйства через протоколы Modbus RTU или Ethernet/IP позволяет осуществлять дистанционный мониторинг режимов мойки, формирование электронных журналов санитарной обработки и интеграцию с системами управления качеством сырья (HACCP). Автоматизированная система обратной связи, основанная на данных кондуктометрических и оптических датчиков чистоты смывов, обеспечивает адаптивную корректировку продолжительности циклов в зависимости от исходной степени загрязнения, что дополнительно повышает ресурсоэффективность на 8–12 %.

Экологическая безопасность технологического процесса обусловлена применением замкнутого контура водооборота и использованием биоразлагаемых реагентов. Система фильтрации и озонирования отработанных стоков позволяет снизить химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК) в сливаемых водах на 70–85 %, что соответствует требованиям природоохранного законодательства и нормативам сброса в централизованные канализационные системы. Применение растительных экстрактов и озонированной воды в качестве дезинфицирующих агентов исключает образование токсичных хлорорганических соединений и тяжелых металлов в сточных водах, минимизируя антропогенную нагрузку на агроэкосистемы.

Адаптивность разработанной установки к различным производственным условиям достигается за счет модульной конструкции и возможности быстрой переналадки под емкости различного объема и конфигурации. Сменные насадки-распылители и регулируемые по высоте телескопические штанги позволяют обрабатывать как стандартные фляги и бидоны, так и нестандартные резервуары объемом до 500 л. Для крупных фермерских хозяйств с интенсивным циклом доения предусмотрена возможность каскадного подключения нескольких КМУ с синхронизацией рабочих циклов, что обеспечивает бесперебойную санитарную обработку парка оборудования без образования технологических простоев. Внедрение комбинированной моечной установки в производственные процессы соответствует требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» и способствует повышению конкурентоспособности продукции на внутреннем и внешнем рынках.

Таким образом, комбинирование ультразвуковой генерации мелкодисперсной среды УМО с озоновой дезинфекцией обеспечивает достижение нормативных показателей санитарной безопасности молочного сырья при радикальном сокращении удельных расходов воды, химических реагентов и энергетических ресурсов.

Список использованных источников

1. Кузина Ж.И., Маневич Б.В. Научное обоснование и промышленная реализация инновационных технологий санитарной обработки оборудования в молочной промышленности: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2010. – 354 с.

2. Тамим А. CIP-мойка на пищевых производствах / пер. с англ. – СПб.: Профессия, 2009. – 288 с.

3. Анохин С.А., Гуськов А.А., Никитин Д.В. Перспективные методы дезинфекции внутренних поверхностей емкостей сбора, хранения и транспортирования молочного сырья // Наука в центральной России. – 2021. – № 2 (50). – С. 48–54.

4. ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 24 с.

УДК 637.1

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДГЕЗИИ МОЛОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И КИНЕТИКА ОСАЖДЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ ПРИ МОЙКЕ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЕМКОСТЕЙ

Поликарпов Андрей Александрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Катаев Иса Хучейнович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Павлов Анатолий Григорьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Агроинженерич»
e-mail: vacuum2008@yandex.ru

Механизм адгезии дисперсных частиц и органических компонентов молочного сырья к конструкционным материалам детерминирован балансом межмолекулярных сил, действующих в нанометровом масштабе границы раздела фаз «твёрдое тело–жидкость». Количественная оценка силы Ван-дер-Ваальса для сферической частицы, находящейся в жидкой фазе вблизи плоской поверхности, осуществляется по зависимости:

$$F_{\text{вдв}} = \left(\frac{A_{132} \cdot R}{6 \cdot Z^2}\right) \quad (1)$$

где A_{132} – константа Хамакера для субстанции и поверхности в среде; R – сферический радиус частицы, мкм; Z – расстояние между частицей и слоем, мкм [1]. Значения констант для распространенных материалов и компонентов молочных отложений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Константы Хамакера веществ и материалов в вакууме

Вещество / материал	A·10²⁰
Вода	4,4
Полиэтилен	3,8
Полистирол	7,8–9,8

Экспериментальные исследования адгезионных характеристик проводились на образцах стали 15 с параметрами шероховатости *Ra*=0,15; 0,2; 0,4; 0,8 мкм, а также полимерах ПВХ и ПЭВП. Качественная оценка загрязнённости определялась по удельной массе остатка $m_{\text{уд}}$, рассчитываемой по формуле:

$$m_{\text{уд}} = \frac{m_{\text{з}}}{F}, \quad (2)$$

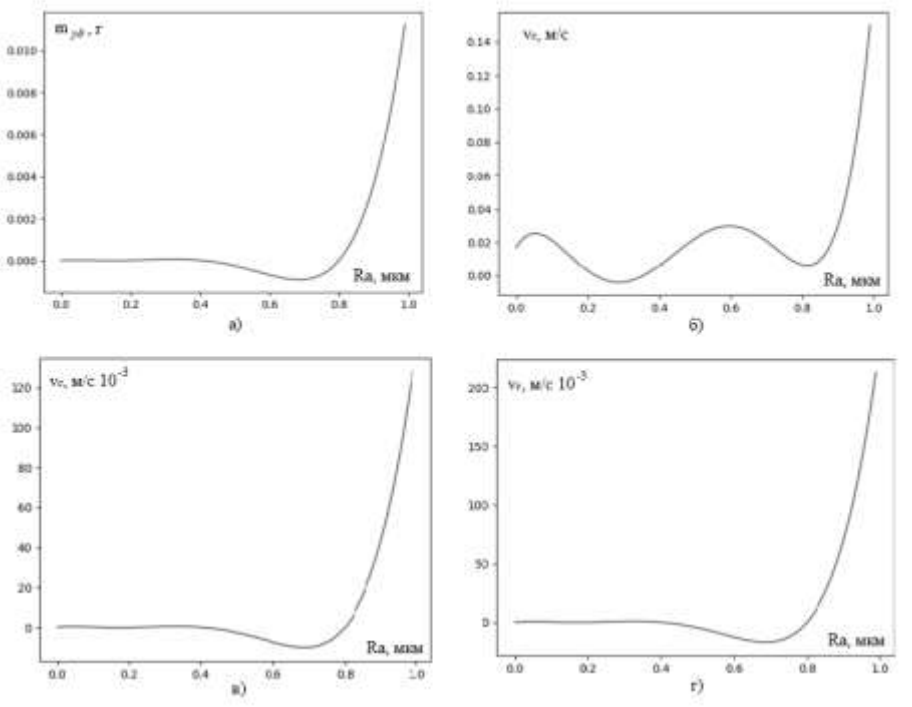
где $m_{\text{з}}$ – масса остатка загрязнителя, г; F – площадь поверхности образца, мм². Анализ полученных значений демонстрирует экспоненциальный рост остаточной массы с увеличением параметра *Ra*, что подтверждает влияние микрорельефа на площадь реального контакта и капиллярное удержание жидкой фазы. Кинетические параметры стекания, полученные методом видеорегистрации, обобщены в таблице 2.

Таблица 2

Данные зависимости скорости течения загрязнителя по поверхностям пластин в зависимости от шероховатости и угла наклона

Угол наклона, α°	Скорость течения, 10^{-3} м/с (R_a = 0,15 мкм)	Скорость течения, 10^{-3} м/с (R_a = 0,8 мкм)
30	12,01	6,667
45	9,065	3,582
60	140	188,462

Расчет скорости осуществлялся по соотношению $v = l / (n/N)$, где l – расстояние, мм; n – количество кадров; N – частота съемки, с⁻¹. Графическая интерпретация полученных зависимостей представлена на рисунке 1.



а) $m_{уд}(R_a)$; б) $v_c(R_a)$ при 30°; в) $v_c(R_a)$ при 45°; г) $v_c(R_a)$ при 60°

Рисунок 1 – Графики полиномиальных зависимостей удельной массы и скорости течения загрязнителя от параметра шероховатости

Статистическая обработка данных выявила коэффициенты корреляции, систематизированные в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции параметров загрязнителя с шероховатостью

Соотношение	Угол, α°	Коэффициент корреляции, C
$m_{уд}(Ra)$	–	0,62
$v_c(Ra)$	30	–0,57
$v_c(Ra)$	45	–0,48
$v_c(Ra)$	60	–0,15

Установлено, что удельная масса загрязнения демонстрирует прямую пропорциональную зависимость от параметра *Ra* (C = 0,62). Обратная корреляция скорости течения с ростом шероховатости выражена слабее, что обусловлено формированием непрерывной гидродинамической плёнки над микронеровностями.

Дополнительный анализ адгезионных процессов с учетом фрактальной геометрии микрорельефа поверхностей показывает, что традиционные параметры шероховатости (*Ra*, *Rz*) не в полной мере отражают реальную площадь контакта и капиллярную емкость пор. Использование фрактальной размерности Df позволяет более точно моделировать процессы проникновения мелкодисперсной среды в микропоры и трещины, где формируется первичная колонизация микроорганизмов. Экспериментально установлено, что поверхности с фрактальной размерностью $Df < 2{,}1$ характеризуются сниженной способностью к удержанию белково-жировых матриц, что сокращает время, необходимое для полной десорбции загрязнений, на 15–20 %. Данный подход открывает перспективы для целенаправленного формирования антиадгезионных покрытий с контролируемой наноструктурой, совместимых с технологией УМО-распыления.

Термодинамический анализ процессов смачивания выявил существенное влияние гистерезиса краевого угла на кинетику растекания моющего раствора. Разница между углами наступающего и отступающего смачивания определяет энергию, необходимую для сдвига адгезионного слоя. При использовании озонированной среды наблюдается снижение гистерезиса на 30–40 % вследствие окисления гидрофобных липидных доменов и повышения полярности поверхности. Это явление объясняется изменением компонент поверхностного натяжения по теории Оуэнса-Вендта, где доля

полярной составляющей возрастает с 18 % до 34 %, что облегчает проникновение водной фазы в зоны контакта загрязнителя с подложкой. Учет термодинамических параметров смачивания при проектировании режимов распыления позволяет оптимизировать удельный расход реагента и минимизировать образование застойных зон.

Синергетический эффект комбинированного воздействия УМО-тумана и озона обусловлен механизмами усиленного массопереноса и окислительной деградации органических матриц. Мелкодисперсные капли диаметром 0,04–0,05 мкм обладают высокой удельной поверхностью, что интенсифицирует растворение газообразного озона в жидкой фазе и ускоряет образование активных форм кислорода (гидроксильных радикалов, пероксидов). Кинетика окисления белковых и липидных компонентов описывается моделью псевдопервого порядка с константой скорости, превышающей аналогичные показатели для традиционных гидродинамических методов в 2,5–3 раза. Проникновение озонированного тумана в микропоры биопленок вызывает деструкцию внеклеточного полимерного матрикса (EPS), снижая его вязкоупругие свойства и облегчая последующее механическое удаление остаточной микрофлоры.

Статистическая обработка экспериментальных данных подтвердила высокую воспроизводимость результатов и надежность предложенных зависимостей. Коэффициенты вариации для показателей удельной массы остаточного загрязнения и скорости стекания не превышали 5,2 % и 6,8 % соответственно при доверительном интервале 95 %. Применение дисперсионного анализа выявило статистически значимое влияние факторов шероховатости ($F = 14{,}7$, $p < 0{,}001$) и температурного градиента ($F = 9{,}3$, $p < 0{,}01$) на эффективность десорбции, тогда как взаимодействие факторов не оказывало существенного влияния на дисперсию отклика. Полученные регрессионные модели прошли проверку на адекватность по критерию Фишера ($F_{расч} < F_{табл}$), что позволяет использовать их для прогнозирования параметров санитарной обработки в широком диапазоне технологических условий.

Кинетика осаждения мелкодисперсной среды УМО в замкнутом объеме емкости описывается совместным действием гравитационного оседания и броуновской диффузии. Уравнение баланса концентрации капель в пространстве между стенками имеет вид:

$$\partial C/\partial T = D \cdot \partial^2 C/\partial X^2 - v \cdot \partial C/\partial X, \quad (3)$$

где C – концентрация капель на расстоянии X; T – время, с; D – коэффициент диффузии капель, м²/с; v – стационарная скорость оседания, м/с [2]. Для обеспечения эффективного заполнения микронеровностей поверхности средним диаметром капли $d_к$ должно соблюдаться условие $d_к < Ra < d_ж$, где $d_ж$ – средний диаметр частицы жира (белка), мкм.

Эффективность дезинфекции оценивается по кинетической модели первого порядка $\ln(N_0/N) = K \cdot t$, где K – константа скорости гибели клеток; N_0 и N – начальное и текущее число живых клеток, КОЕ [3]. Экспериментально установлено, что распыление озонированной воды в виде тумана обладает более высокой эффективностью дезинфекции по сравнению с вакуумной обработкой на 85 %, горячей водой (60 °C) на 28 % и газофазным озоном (концентрация 0,3–0,5 мг/м³) на 72 %.

Таким образом, теоретическое моделирование полей термофореза и диффузиофореза в сочетании с экспериментальной верификацией адгезионных характеристик подтверждает высокую технологическую перспективность интеграции методов распыления УМО и озонирования в циклы санитарной обработки молочного оборудования.

Список использованных источников

1. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985. – 398 с.

2. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 353 с.

УДК 631.363.2:636.084:338.43
45.455.2: Кормовые планы, расчеты, балансы

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ СЫПУЧИХ КОРМОВ В УСЛОВИЯХ КФХ

Терехов Александр Александрович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант,
e-mail: terehoff5ash@yandex.ru

Прохоров Алексей Владимирович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия»,
e-mail: pav1981@bk.ru

Ведищев Сергей Михайлович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор кафедры «Агроинженерия»,
e-mail: serg666_65@mail.ru ru

Хольшев Николай Васильевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия»,
e-mail: xhb@live.ru

Сантурян Ольга Вячеславовна,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант,
e-mail: santuryan.olya31@yandex.ru

Ключевые слова: шнековый дозатор-смеситель, премикс, кормосмесь, КФХ, экономический эффект.

Key words: screw feeder-mixer, premix, feed mixture, peasant farm, economic effect.

Аннотация: Представлена технико-экономическая оценка применения шнекового дозатора-смесителя сыпучих кормов с двухсекционным бункером в условиях молочного КФХ на 100 голов КРС. Рассчитаны экономия премикса, эксплуатационные затраты, дополнительная выручка от повышения однородности кормосмеси, годовой экономический эффект и срок окупаемости. Установлено, что внедрение устройства обеспечивает годовой эффект 277,8 тыс. руб. и окупаемость 6,3 месяца.

Summary: The paper presents a technical and economic assessment of a screw feeder-mixer for bulk feeds with a two-section hopper for a dairy peasant farm with 100 cattle. Premix savings, operating costs, additional revenue from improved feed mixture uniformity, annual economic effect and payback period are calculated. The proposed device provides an annual effect of 277.8 thousand rubles and a payback period of 6.3 months.

Введение. Повышение эффективности функционирования АПК требует снижения удельных затрат на приготовление кормов и повышения точности использования дорогостоящих микродобавок. В молочном животноводстве КФХ премиксы применяются малыми дозами, однако имеют высокую стоимость, поэтому систематический перерасход 5–7% при ручном дозировании формирует прямые экономические потери. Недостаточная однородность кормосмеси, в свою очередь, ухудшает равномерность поступления биологически активных веществ и снижает технологическую дисциплину кормления [1].

Объектом оценки является шнековый дозатор-смеситель сыпучих кормов с двухсекционным бункером, разработанный по патенту RU 2834752 C1 [2]. Устройство совмещает дозирование основного концентрированного компонента и премикса с предварительным смешиванием за счет шнекового рабочего органа. Цель статьи – оценить экономическую целесообразность применения указанного устройства в условиях типового молочного КФХ на 100 голов КРС.

Основная часть. Расчет выполнен для хозяйства с поголовьем 100 голов КРС и продуктивностью 4000 кг молока на голову в год. Норма ввода премикса принята 0,12 (кг/гол.·сут.), расчетная цена премикса – 240 руб./кг. При базовом способе дозирования принят перерасход 6%, что соответствует середине диапазона 5–7%, характерного для ручного или недостаточно точного дозирования. Годовые эксплуатационные издержки определялись как сумма амортизации, текущего ремонта, затрат на

электроэнергию и прочих расходов: (И=А+ТР+З_{эл}+П). Годовой экономический эффект рассчитывался по выражению (Эг=Delta З{прем}+Delta И+Delta R), где (Delta З_{прем}) – экономия премикса, (Delta И) – экономия эксплуатационных издержек, (Delta R) – дополнительная выручка от прироста продукции животноводства [3, 4].

Таблица 1

Экономия премикса при применении разработанного дозатора-смесителя

Показатель	Ед. изм.	Базовый	Предлаг.
Поголовье КРС	гол.	100	100
Норма премикса	кг/гол.·сут.	0,12	0,12
Расход премикса	кг/год	4642,8	4380,0
Цена премикса	руб./кг	240	240
Затраты на премикс	руб./год	1 114 272	1 051 200
Экономия	руб./год	-	63 072

Переход к точному шнековому дозированию снижает фактический расход премикса на 262,8 кг/год и обеспечивает прямую экономию 63072 руб./год. При изменении перерасхода премикса в диапазоне 5–7% экономия составляет 52,6–73,6 тыс. руб./год, что подтверждает устойчивость результата.

Капитальные вложения на изготовление опытно-промышленного образца включают металлопрокат, изготовление шнека и вала, двухсекционный бункер, электродвигатель, редуктор, частотный преобразователь, электроаппаратуру, сборку и наладку. Их сумма составила 146 тыс. руб. Для сравнения принят серийный шнековый дозатор-аналог стоимостью 280 тыс. руб. и установленной мощностью 1,5 кВт.

Годовые эксплуатационные издержки разработанного устройства составили 39756 руб./год против 88964 руб./год у аналога. Экономия 49209 руб./год достигается за счет меньшей балансовой стоимости, установленной мощности 0,75 кВт и меньших расходов на ремонт и техническое обслуживание.

Дополнительный зоотехнический эффект связан с повышением однородности кормосмеси. В расчете учитывалась только ремонтная и откормочная группа 40 голов; базовый среднесуточный привес принят 0,70 кг/гол.·сут., планируемы прирост от улучшения смешивания – 9%, что находится внутри диапазона 8–10%, приводимого для рационов с повышенной равномерностью распределения компонентов [5, 6]. Дополнительная живая масса составляет 919,8 кг/год, а дополнительная выручка при цене 180 руб./кг – 165 564 руб./год.

Таблица 2

Сводные показатели технико-экономической эффективности

Показатель	Ед. изм.	Значение
Экономия премикса	руб./год	63072
Экономия эксплуатационных издержек	руб./год	49209
Дополнительная выручка	руб./год	165564
Суммарный годовой эффект	руб./год	277845
Капитальные вложения	руб.	146000
Срок окупаемости	мес.	6,3
ЧДД, 12%, 7 лет	руб.	1122015

Суммарный годовой экономический эффект равен 277845 руб./год. Его структура показывает, что 22,7% эффекта формируется экономией премикса, 17,7% – снижением эксплуатационных затрат, 59,6% – дополнительной выручкой от прироста живой массы. Простой срок окупаемости капитальных вложений составляет (146000/277845=0,52) года, или 6,3 месяца. Чистый дисконтированный доход за 7 лет при ставке дисконтирования 12% составляет 1122015 руб., что подтверждает инвестиционную устойчивость проекта.

Заключение. Выполненная оценка показала, что применение шнекового дозатора-смесителя с двухсекционным бункером в условиях КФХ на 100 голов КРС обеспечивает комплексный эффект за счет точного дозирования премикса, снижения эксплуатационных затрат и повышения однородности

кормосмеси. Годовая экономия премикса составляет 63072 руб./год, экономия эксплуатационных издержек – 49209 руб./год, дополнительная выручка от прироста живой массы – 165564 руб./год. Суммарный годовой эффект равен 277845 руб./год, срок окупаемости – 6,3 месяца. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанное устройство для малых и средних молочных хозяйств, где совмещение операций дозирования и смешивания снижает капиталоемкость технологической линии.

Список использованной литературы

1. Техническое обеспечение животноводства / А. И. Завражнов, С. М. Ведищев, М. К. Бралиев [и др.]. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2020. – 516 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-8114-6650-4. – EDN EPTMMD.

2. Патент № 2834752 C1 Российская Федерация, МПК G01F 11/00. Шнековый дозатор сыпучих кормов : заявл. 11.07.2024 : опубл. 14.02.2025 / А. В. Прохоров, С. М. Ведищев, Н. В. Хольшев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тамбовский государственный технический университет". – EDN MNPDDW.

3. Методические рекомендации по экономическому обоснованию научных проектов в отраслях АПК / О. В. Большаков, Г. А. Полунин, В. И. Комаров [и др.]. – Москва : НИИ информации и технико-экономических исследований пищевой промышленности, 1999. – 31 с. – EDN SYVFKV.

4. Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в АПК. – М.: РАСХН, 2007.

5. Смеситель вертикальный шнековый: характеристики и эффект применения // Agropost50. – URL: https://agropost50.ru/smesiteli-kormov/smesitel-vertikalnyy-shnekovyy/ (Дата обращения: 04.05.2026).

6. Общесмешанные рационы кормления крупного рогатого скота // Клевер. – URL: https://kleverkirov.ru/library/animal_industry_resource_recovery_technologies/obshchiesmieshannyie-ratsiony-kormlieniia-krupnogho-roghatogho-skota/ (Дата обращения: 04.05.2026).

УДК 621.6.04

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ALTAIR EDEM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (DEM)

Фарур Хамза,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», аспирант
e-mail: hamza.faarour@gmail.com

Борщев Вячеслав Яковлевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», доктор технических наук, профессор, кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»
e-mail: borschov@yandex.ru

Аннотация

Программный комплекс Altair EDEM широко применяется для численного моделирования поведения гранулированных и сыпучих материалов. В основе расчётов лежит метод дискретных элементов (Discrete Element Method, DEM), который позволяет описывать движение и взаимодействие отдельных частиц. Этот подход дает возможность подробно описать движение отдельных частиц, их взаимодействие друг с другом и с твердыми границами, а также оценить, как конструктивные и технологические параметры оборудования влияют на эффективность протекающих процессов. EDEM применяется в машиностроении, химической и горнодобывающей промышленности, а также в фармацевтике, пищевой отрасли и в научных исследованиях. В статье дан обзор программного комплекса Altair EDEM. Рассмотрены основные положения метода DEM, устройство и логика работы программы, подходы к анализу полученных результатов, а также ключевые направления его применения в промышленности и научных исследованиях. Отдельно рассмотрены преимущества и ограничения метода при его применении в инженерной практике и при подготовке научных публикаций.

Введение

Гранулированные и сыпучие материалы, такие как порошки, зернистые среды и твердые частицы,

играют ключевую роль во множестве промышленных процессов, включая смешивание, транспортирование, хранение и дозирование. Особый интерес в инженерной практике представляют гравитационные смесители сыпучих материалов каскадного типа, отличающиеся простой конструкцией, энергоэффективностью и возможностью обеспечения интенсивного перемешивания за счет многократных каскадных пересыпаний частиц.

Поведение сыпучих материалов в таких смесителях характеризуется сложной нелинейной динамикой, обусловленной столкновениями частиц, трением, сегрегацией по размерам и плотности, а также влиянием геометрии каскадных элементов. Традиционные континуальные модели не позволяют в полной мере описать данные эффекты, что делает их применение ограниченным [1].

В связи с развитием вычислительных технологий широкое распространение получил метод дискретных элементов (DEM), позволяющий моделировать движение и взаимодействие отдельных частиц [2,3]. Программный комплекс Altair EDEM является одним из наиболее эффективных инструментов для реализации DEM-подхода и широко используется при исследовании процессов смешивания в гравитационных смесителях каскадного типа, включая анализ однородности смеси и оценку влияния конструктивных параметров оборудования [4].

1. Теоретические основы метода дискретных элементов

1.1 Основной принцип DEM

Метод дискретных элементов основан на прямом численном интегрировании уравнений движения для каждой отдельной частицы. Для i-й частицы записываются уравнения поступательного и вращательного движения, вытекающие из второго закона Ньютона. Суммарные силы и моменты, действующие на частицу, определяются контактными взаимодействиями с соседними частицами, взаимодействиями с границами расчетной области, а также внешними полями сил.

Такой подход позволяет получить детальное описание микродинамики системы, что особенно важно для анализа процессов смешивания, сегрегации и износа оборудования.

1.2 Контактные модели

В Altair EDEM реализован широкий набор контактных моделей, наиболее распространенными из которых являются:

модель Герца–Минделина для описания нормальных и касательных контактных сил;

модели сухого трения (статического и кинетического);

когезионные модели, применяемые для тонкодисперсных порошков;

демпфирующие модели, учитывающие энергорассеяние при столкновениях.

Выбор адекватной контактной модели и корректная калибровка параметров являются ключевыми факторами достоверности результатов DEM-моделирования.

2. Общая характеристика программного комплекса Altair EDEM

2.1 Назначение и возможности

Altair EDEM является целенаправленным программным обеспечением для моделирования поведения дискретных частиц в трехмерном пространстве.

С его помощью можно смоделировать как обычные лабораторные установки, так и сложные индустриальные агрегаты, такие как смесители, барабаны, питатели, транспортные системы и пр.

2.2 Пользовательский интерфейс

Интуитивно понятный графический интерфейс EDEM позволяет пользователям легко настроить расчеты и визуализировать результаты. Пользователь может импортировать геометрию из SOLIDWORKS, CAD систем…, задавать свойства материалов, определять законы движения оборудования, контролировать процесс моделирования в реальном времени и много другое (Рисунок 1).

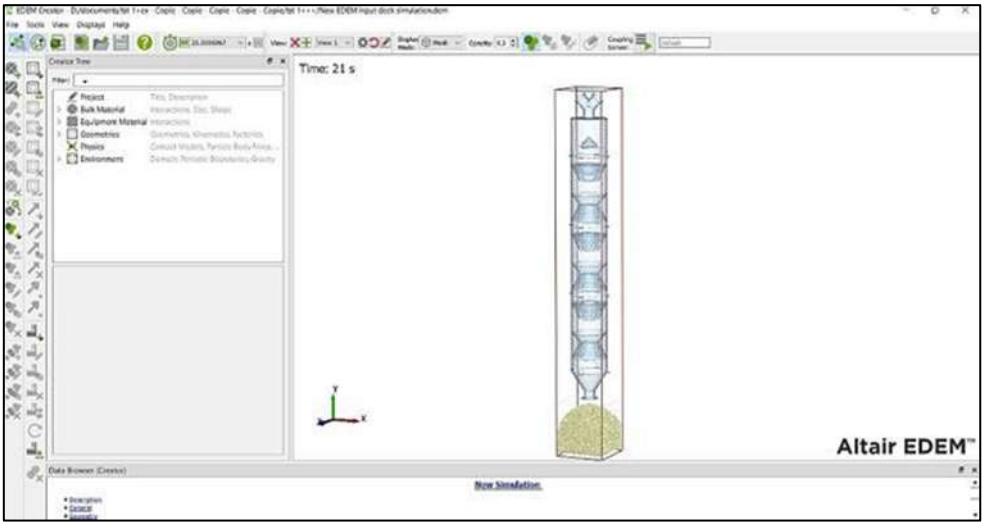


Рисунок 1 – численное моделирование (имитация методом дискретных элементов) каскадного гравитационного смесителя [5]

2.3 Структура расчетного процесса

Работа в Altair EDEM делится на три условно основных этапа:

Предобработка (Pre-processing) - создание расчетной модели, задание геометрии, частиц и их свойств;

Решение (Solver) - численное интегрирование уравнений движения частиц;

Постобработка (Post-processing) - анализ и интерпретация результатов, полученных в результате численного расчетного процесса.

3. Настройка DEM-моделирования в Altair EDEM

3.1 Моделирование частиц

В системе EDEM предлагается возможность использования как сферически примитивных частиц, так и более сложной формы макрообъектов, описываемых с помощью многосферных аппроксимаций. Пользователь может задавать распределения размера, плотность и механические свойства частиц, что позволяет довольно близко воспроизводить реальные материалы.

3.2 Свойства материалов и граничные условия

К числу основных параметров относятся коэффициент трения, коэффициент восстановления, модули упругости и демпфирования. К граничным условиям относятся гравитация, кинематика движущихся стен и режим загрузки и выгрузки материала.

4. Анализ и обработка результатов

4.1 Визуальный анализ

Altair EDEM предоставляет развитые средства визуализации, позволяющие детально анализировать траектории движения частиц внутри гравитационного смесителя каскадного типа, характер их пересыпаний между каскадами и формирование зон интенсивного смешивания. Такой анализ дает наглядное представление о механизмах перераспределения частиц и выявляет области возможной сегрегации.

4.2 Количественный анализ

Для количественной оценки эффективности смешивания в настоящей работе использовались показатели распределения частиц по объему смесителя, а также коэффициент неоднородности (CV), широко применяемый в исследованиях сыпучих систем [3,6]. Расчет CV позволяет объективно оценить степень однородности смеси на различных этапах процесса и проследить выход системы в квазистационарное состояние смешивания.

4.3 Использование модуля EDEM Analyst

Модуль EDEM Analyst применялся для постобработки результатов моделирования на основе метода Grid Bin, при котором расчетная область смесителя разбивается на регулярную сетку ячеек. В каждой ячейке определялось локальное содержание компонентов, что позволило получить пространственные распределения концентраций и провести статистический анализ однородности смеси в каскадном гравитационном смесителе [4].

5. Преимущества и ограничения метода

К основным преимуществам Altair EDEM относятся высокая физическая достоверность моделирования, гибкость настройки и развитые средства анализа. Ограничениями метода являются высокая вычислительная стоимость и необходимость тщательной калибровки параметров модели.

6. Заключение

Программный комплекс Altair EDEM широко используется для анализа поведения сыпучих и гранулированных материалов. Используя этот программный продукт, можно лучше понимать закономерности взаимодействия частиц друг с другом и с оборудованием. Кроме того, можно проанализировать влияние различных факторов на работу оборудования. Одним из основных плюсов использования программы является то, что она позволяет наглядно представить процессов, происходящих внутри системы. Используя этот программный продукт, инженер может принимать более обоснованные решения. Кроме того, использование программы Altair EDEM снижает необходимость проведения дорогостоящих экспериментов. Для проверки различных сценариев можно использовать виртуальную среду.

Несмотря на то, что этот программный продукт требует значительных вычислительных ресурсов и времени, особенно при моделировании большого числа частиц, Altair EDEM по-прежнему является одним из ключевых программных средств для дем-анализа. Altair EDEM широко используется как для научных исследований, так и промышленностью для повышения эффективности процессов и снижения затрат.

Список использованных источников

1. Cundall P.A., Strack O.D.L. A discrete numerical model for granular assemblies // Géotechnique. – 1979. – Vol. 29. – No. 1. – pp. 47–65.

2. Zhu H.P., Zhou Z.Y., Yang R.Y., Yu A.B. Discrete particle simulation of particulate systems: A review of major applications and findings // Chemical Engineering Science. – 2007. – Vol. 62. – pp. 3378–3396.

3. Cleary P.W. DEM modelling of industrial granular flows: 3D case studies and the effect of particle shape on mixing // Applied Mathematical Modelling. – 2010. – Vol. 34. – pp. 400–420.

4. Altair Engineering Inc. Altair EDEM 2023 – Theory Manual and User Guide.

5. Борщев В. Я., Фарур Х., Макаров В. С. Гравитационный смеситель сыпучих материалов : пат. 2821456 Российская Федерация, МПК B01F 23/60 (2022.01) / заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ». – № 2024109721 ; заявл. 10.04.2024 ; опубл. 24.06.2024, Бюл. № 18. – 11 с.

6. Zhou Z.Y., Yu A.B. Numerical simulation of particulate systems using the discrete element method // Powder Technology. – 2004. – Vol. 145. – pp. 64–78.

УДК 629.113.06:620.193

КОРРОЗИОННОЕ И КАВИТАЦИОННО-ЭРОЗИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ НА ДЕТАЛИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВС: НОРМАТИВНАЯ РЕГЛАМЕНТАЦИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА

Щербашин Виктор Романович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, к
e-mail: viktor.sherbaschin@yandex.ru

Кубасов Вадим Геннадьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», старший преподаватель кафедры «Агроинженерия»
vgkubasov@yandex.ru

Прохоров Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: pav1981@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены механизмы коррозионного и кавитационно-эрозионного разрушения деталей системы охлаждения ДВС. Выполнен сравнительный анализ требований ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2] и ТР ТС 030/2012 [3].

Ключевые слова: коррозия, кавитационная эрозия, охлаждающая жидкость, ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2], продукты коррозии

В системах охлаждения ДВС одновременно протекают процессы электрохимической коррозии и кавитационной эрозии. Обновление нормативной базы требует пересмотра критериев оценки коррозионной активности ОЖ и учёта межгосударственных требований, см. таблицу 1.

Таблица 1

Требования к коррозионному воздействию

Показатель	ГОСТ 28084-89	ГОСТ 33591-2015
Медь, латунь	≤ 0,10 г/(м²·сут)	≤ 10–20 мг
Алюминий	≤ 0,10 г/(м²·сут)	≤ 30–60 мг
Припой	≤ 0,20 г/(м²·сут)	≤ 30–60 мг
Кавитационная эрозия	не нормируется	≥ 8 баллов

ГОСТ 33591-2015 [2] устанавливает более детализированные требования к коррозионной и кавитационной стойкости. Это особенно важно для современных алюминиевых систем охлаждения и дизельных двигателей с мокрыми гильзами.

Влияние оксидов FeO, Al_2O_3 и CuO на состояние антифриза оценивалось по изменению электропроводности. Высокие значения корреляции r = 0,93–0,99 подтверждают возможность использования кондуктометрического контроля для диагностики коррозионного состояния ОЖ.

Развитие коррозионных процессов в системе охлаждения двигателя определяется совокупностью химических, электрохимических и гидродинамических факторов. К числу важнейших относятся температура жидкости, её кислотно-щелочное состояние, наличие растворённых солей, кислорода, продуктов коррозии и различие электрохимических потенциалов металлов, контактирующих в общем объёме электролита [6]. В реальных условиях эксплуатации процесс усугубляется циклическим нагревом и охлаждением, переменным расходом жидкости, вибрацией и локальными зонами перегрева вблизи выпускных каналов головки блока цилиндров [7].

Материалы диссертационного исследования показывают, что даже при исходном соответствии жидкости требованиям ГОСТ 28084-89 [1] в процессе эксплуатации происходит постепенное накопление ионов железа, алюминия, меди и олова, переходящих в охлаждающую жидкость из деталей системы охлаждения [7]. Это не только увеличивает электропроводность среды, но и изменяет условия формирования защитных плёнок на поверхности металлов, вследствие чего скорость коррозии начинает возрастать по нелинейному закону [6, 7]. Следовательно, оценка состояния ОЖ должна базироваться не на одном показателе, а на комплексе признаков деградации жидкости и конструкционных материалов [7, 8].

Одним из ключевых факторов является водородный показатель среды. В соответствии с ГОСТ 28084-89 [1] допустимый диапазон pH для низкозамерзающих охлаждающих жидкостей составляет 7,5–

11,0, что обеспечивает щелочную реакцию среды и тормозит электрохимическую коррозию большинства конструкционных металлов [1, 6]. Снижение pH ниже нижней границы приводит к разрушению пассивирующих плёнок на стали и алюминиевых сплавах, а при значениях около 6,0–6,5 начинается резкое ускорение локальной коррозии и питтингообразования [6, 7].

Щёлочной резерв выступает интегральной характеристикой способности жидкости противостоять закислению в процессе эксплуатации. По данным материалов исследования, уменьшение щёлочности ниже 10 см³ сопровождается ростом концентрации ионов металлов и ухудшением антикоррозионных свойств жидкости [1]. В этом отношении особенно важно учитывать, что ТР ТС 030/2012 [3] допускает pH от 6,0 до 10,0, однако для эксплуатационного обеспечения надёжности двигателя приближение к нижней границе этого интервала уже следует считать неблагоприятным признаком, требующим усиленного контроля [3].

Существенное влияние на коррозионное состояние оказывает качество воды, применяемой для приготовления рабочих растворов антифриза. Присутствие хлоридов, сульфатов и солей жёсткости увеличивает электрическую проводимость раствора, способствует нарушению пассивных плёнок и ускоряет питтинговую коррозию алюминия и припоя [6, 7]. Особенно опасны хлорид-ионы, которые локально разрушают оксидную плёнку и инициируют язвенную коррозию в наиболее нагретых зонах системы охлаждения [6].

ГОСТ 33591-2015 [2] уделяет этому вопросу больше внимания, чем ГОСТ 28084-89 [1], поскольку нормирует качество воды для разбавления концентратов и ограничивает содержание отдельных примесей [2]. Для эксплуатационной практики это означает, что даже качественный концентрат антифриза может быстро утратить защитные свойства при разбавлении неподготовленной водопроводной водой с высоким солесодержанием [7, 8].

Кавитационная эрозия в системе охлаждения возникает в зонах локального падения давления, прежде всего на крыльчатке водяного насоса, стенках рубашки охлаждения и около гильз цилиндров. Образующиеся парогазовые пузырьки, схлопываясь, создают микроструи и ударные импульсы высокого давления, вызывающие многократные поверхностные разрушения материала [4, 7]. Эти повреждения снимают защитные оксидные и ингибиторные плёнки, после чего оголённый металл подвергается интенсивной электрохимической коррозии [6, 7, 9, 10].

Таким образом, кавитация и коррозия образуют единый самоускоряющийся процесс. Чем слабее защитные свойства охлаждающей жидкости, тем быстрее развивается коррозия; чем интенсивнее кавитационное разрушение, тем больше площадь активной металлической поверхности, вовлечённой в электрохимический процесс [6, 7]. Именно этим объясняется включение в ГОСТ 33591-2015 [2] специальных испытаний кавитационно-эрозионной стойкости водяного насоса, чего не предусматривал ГОСТ 28084-89 [1, 2].

Алюминиевые сплавы обладают высокой удельной теплопроводностью и поэтому широко применяются в радиаторах, блоках цилиндров и корпусах насосов, однако они чувствительны к отклонениям состава охлаждающей жидкости. При снижении pH, наличии хлоридов и повышенной температуре алюминий подвержен питтинговой коррозии, которая долгое время остаётся локальной, но затем приводит к сквозным поражениям стенок каналов и герметизирующих поверхностей [2, 6, **9]**.

Припои, применяемые в радиаторных узлах, также относятся к уязвимым материалам. В исследовании и в нормативных требованиях специально выделяется повышенный предел допустимой коррозии для припоя по сравнению с медью, сталью и алюминием, что указывает на его меньшую стойкость и большую чувствительность к агрессивности среды [1, 2]. Следовательно, контроль состояния ОЖ должен обеспечивать раннее выявление среды, опасной именно для припойных соединений, поскольку отказ радиатора часто начинается с локального разрушения швов [7].

Для различных автомобилей характерны отличающиеся скорости накопления продуктов коррозии и изменения физико-химических показателей охлаждающей жидкости [8]. Для части исследованных образцов после наработки наблюдалось заметное снижение pH, уменьшение щёлочности, рост электропроводности и увеличение содержания железа, алюминия, меди и олова [8]. Особенно показательны данные по образцам, в которых при сохранении внешней текучести и отсутствии заметного осадка жидкость уже выходила за пределы нормативных значений по отдельным показателям [8].

Это обстоятельство имеет важное практическое значение: визуальная оценка охлаждающей жидкости не позволяет достоверно определить степень её пригодности к дальнейшей эксплуатации. Жидкость может сохранять удовлетворительный цвет и прозрачность, но уже обладать сниженным щёлочным резервом, повышенной проводимостью и возросшей коррозионной активностью [8]. Следовательно, эксплуатационная диагностика должна обязательно включать инструментальные методы контроля физико-химических параметров ОЖ, а не ограничиваться визуальной оценкой [7, 8].

В рамках выполненных исследований установлено, что увеличение содержания FeO, Al_2O_3 и CuO в антифризе G11 вызывает закономерный рост электрической проводимости, причём наиболее выраженное влияние оказывает оксид железа [8]. Полученные зависимости с коэффициентами корреляции порядка 0,93–0,99 подтверждают тесную связь между концентрацией продуктов коррозии и измеряемыми электрофизическими параметрами жидкости [8].

С инженерной точки зрения это позволяет использовать проводимость как интегральный индикатор коррозионной опасности среды. Измерение данного параметра не заменяет лабораторное определение каждого химического компонента, но позволяет быстро выявить жидкость, в которой с высокой вероятностью нарушены защитные свойства и начались неблагоприятные процессы взаимодействия с металлами системы охлаждения [8]. Такой подход особенно ценен для автотранспортных предприятий, где необходим оперативный контроль без сложной пробоподготовки [7, 8].

На основе проведённого анализа целесообразно рекомендовать многоступенчатый подход к оценке коррозионного состояния ОЖ. На первом этапе выполняется экспресс-контроль pH, плотности и электрической проводимости; на втором этапе, при выявлении отклонений, проводится лабораторное подтверждение по щёлочности и содержанию продуктов коррозии; на третьем этапе принимается решение о полной замене жидкости с промывкой системы охлаждения [7, 8]. Такой алгоритм обеспечивает рациональное сочетание точности контроля и эксплуатационной оперативности [8].

Для сервисных предприятий и автопарков важно учитывать, что повышение коррозионной активности ОЖ опасно не только ускоренным износом отдельных деталей, но и вторичными последствиями: засорением каналов радиатора продуктами коррозии, нарушением работы термостата, ухудшением циркуляции и локальными перегревами двигателя [7]. Поэтому борьба с коррозией в системе охлаждения должна рассматриваться как элемент общей стратегии повышения надёжности транспортной техники, а не как изолированная химическая проблема [6, 7, 9, 10].

ГОСТ 33591-2015 [2] расширяет требования к оценке коррозионной активности и вводит контроль кавитационно-эрозионной стойкости. Накопление продуктов коррозии является причиной ухудшения физико-химических свойств ОЖ. Кондуктометрический метод пригоден для экспресс-диагностики в эксплуатации.

Список использованных источников

1. ГОСТ 28084-89. Жидкости охлаждающие низкозамерзающие. Общие технические условия. — М.: Издательство стандартов, 1990.

2. ГОСТ 33591-2015. Жидкости охлаждающие на основе гликолей. Технические требования. — М.: Стандартинформ, 2016.

3. ТР ТС 030/2012. О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям. — М., 2012.

4. ГОСТ 33594-2015. Жидкости охлаждающие. Определение температуры кипения. — М.: Стандартинформ, 2016.

5. ГОСТ 9.030-74. ЕСЗКС. Резины. Методы испытаний на стойкость к агрессивным средам. — М.: Издательство стандартов, 1975.

6. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. — М.: Высшая школа, 1984. — 519 с.

7. Очковский, Н. А. Исследование некоторых способов предупреждения накипеобразования и коррозии в системе охлаждения автомобильных двигателей при эксплуатации в сельском хозяйстве [Текст] : Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. (05.20.03) / Моск. ин-т инженеров с.-х. производства им. В. П. Горячкина. - Москва : [б. и.], 1973. - 23 с.

8. Телков О.И., Космачёва А.Д., Ходяков А.А., Хлопков С.В., Данилов И.К. Анализ свойств антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания // Вестник РУДН. Сер.: Инженерные исследования. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 329–338. DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-4-329-338.

9. Шипилов А.А. Обзор и анализ конструкций систем принудительного охлаждения радиаторов легковых автомобилей // Фундаментальные и прикладные научные исследования: инновационный потенциал развития : Сб. ст. по материалам межд. науч.-практ. конф., Уфа, 18 окт. 2019 г. Ч. 1. — Уфа: НИЦ «Вестник науки», 2019. — С. 133–140. — EDN TELJVK.

10. Шипилов А.А., Хольшев Н.В. Обзор способов регулирования интенсивности охлаждения радиатора двигателя автомобиля // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сб. науч. тр. каф. ЭАТиС, посвящённый 90-летию Е.С. Кузнецова, по материалам 77-й науч.-метод. конф. МАДИ, Москва, 29–30 янв. 2019 г. — М.: Техполиграфцентр, 2019. — С. 168–171. — EDN YWVNZB.

УДК 629.113.06:519.85

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Щербашин Виктор Романович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, к
e-mail: viktor.sherbaschin@yandex.ru

Кубасов Вадим Геннадьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», старший преподаватель кафедры «Агроинженерия»
vgkubasov@yandex.ru

Прохоров Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: pav1981@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены математические модели для прогнозирования остаточного ресурса охлаждающих жидкостей. Введены браковочные показатели по ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2] и ТР ТС 030/2012 [3] и предложен алгоритм расчёта срока замены.

Ключевые слова: математическая модель, ресурс охлаждающей жидкости, прогнозирование, диагностирование, ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2]

Замена ОЖ по фактическому состоянию требует расчёта остаточного ресурса по результатам текущих измерений. Для этого необходимо опираться на нормативные браковочные показатели, закреплённые в стандартах РФ и стран СНГ.

Остаточный ресурс определяется выражением

$$L_{ост} = (Y_{пред} - Y_{изм}) / И, \quad (1)$$

где $Y_{пред}$ — предельное значение параметра, $Y_{изм}$ — измеренное значение, И — скорость изменения параметра. В качестве $Y_{пред}$ принимаются показатели из ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2] и ТР ТС 030/2012 [3].

Таблица 1

Браковочные параметры

Параметр	Предел	Документ
pH	7,5 или 6,0	ГОСТ 28084-89 / ТР ТС 030/2012
Щёлочность	10 см³	ГОСТ 28084-89
Коррозия Al	0,10 г/(м²·сут) / 30 мг	ГОСТ 28084-89 / ГОСТ 33591-2015
Хлориды	25 мкг/г	ГОСТ 33591-2015

Алгоритм включает измерение pH, плотности, проводимости и сравнение с предельными значениями. Новая редакция методики предусматривает приоритет обязательных ограничений ТР ТС 030/2012 [3] перед рекомендательными нормами стандартов.

Прогнозирование остаточного ресурса охлаждающей жидкости представляет собой задачу оценки времени, в течение которого совокупность её параметров будет оставаться в допустимых нормативных пределах. В отличие от календарного регламента с фиксированным интервалом замены, ресурсная модель учитывает фактическую скорость изменения физико-химических показателей под воздействием условий эксплуатации, температуры, состава воды, материала системы охлаждения и технического состояния двигателя [5]. Такой подход позволяет перейти от регламентной замены к технически обоснованной замене по фактическому состоянию [5, 6].

Изменение состояния охлаждающей жидкости в эксплуатации не представляет беспорядочного набора независимых отклонений: между показателями pH, щёлочности, электрической проводимости, концентрацией продуктов коррозии и наработкой жидкости прослеживаются устойчивые функциональные зависимости [7]. Это создаёт методическую основу для построения математических моделей, пригодных как для инженерного расчёта, так и для алгоритмизации в диагностических приборах и программных системах технического сервиса [8].

Ключевым этапом построения модели является выбор параметров, наиболее чувствительных к деградации охлаждающей жидкости. На основании проведённого исследования к таким параметрам относятся водородный показатель, щёлочность, плотность, температура кристаллизации, электрическая

проводимость и концентрация отдельных продуктов коррозии [1, 2]. При этом разные параметры обладают неодинаковой диагностической ценностью: например, плотность хорошо отражает концентрацию гликоля, но слабее характеризует исчерпание ингибиторного пакета, тогда как проводимость и pH быстрее реагируют на химическое старение среды [7].

Принципиально важно, чтобы выбранный параметр был не только информативным, но и измеряемым в условиях эксплуатации. Этим и обусловлено интерес к электрической проводимости как к интегральному параметру, который чувствителен к накоплению продуктов коррозии и изменению ионного состава жидкости, а также может быть измерен переносным прибором без сложной пробоподготовки [7]. Следовательно, многопараметрическая модель должна сочетать нормативно значимые показатели с параметрами, пригодными для оперативной диагностики [1, 2].

В простейшем случае остаточный ресурс можно определять по линейной зависимости между диагностическим параметром и наработкой, когда скорость изменения показателя на рассматриваемом участке остаётся приблизительно постоянной. Такой подход удобен для расчётов и принятия эксплуатационных решений, поскольку позволяет выразить остаточный ресурс через разность между предельным и текущим значением, делённую на интенсивность изменения параметра [5, 6]. Однако исследование показывает, что для ряда характеристик, в частности для электропроводности и накопления продуктов коррозии, зависимости носят нелинейный характер и могут аппроксимироваться степенными или полиномиальными функциями [7].

Адекватная модель ресурса должна, следовательно, учитывать переменный характер деградации. На ранних стадиях эксплуатации скорость изменения показателей может быть относительно невысокой, затем по мере истощения присадок и роста коррозионной активности происходит ускорение деградации среды [7]. Поэтому использование только линейной модели на всём интервале эксплуатации может приводить к завышению остаточного ресурса, особенно для жидкостей, находящихся вблизи предельного состояния [5, 6].

Математическая модель остаточного ресурса имеет практический смысл лишь в том случае, если она опирается на нормативно установленные предельные значения контролируемых параметров. Для охлаждающих жидкостей такими пределами служат требования ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2] и ТР ТС 030/2012 [3] по pH, щёлочности, коррозионному воздействию, содержанию отдельных примесей и другим показателям [1, 2, 3]. Прогнозирование ресурса, по существу, сводится к оценке момента достижения одним или несколькими показателями соответствующего браковочного уровня [1].

В методологическом плане ключевым является принцип множественности критериев. Жидкость может сохранять удовлетворительную плотность и температуру кристаллизации, но уже иметь опасно низкую щёлочность или повышенную коррозионную активность [2]. Поэтому конечное состояние модели должно описываться не одной границей, а совокупностью ограничений, причём решение о замене следует принимать по первому достигнутому предельному значению. Такой подход соответствует логике технической диагностики сложных систем, где отказ определяется наиболее слабым звеном [5].

С введением ТР ТС 030/2012 [3] система оценки пригодности охлаждающих жидкостей получила дополнительный обязательный уровень требований для рынка ЕАЭС. Если национальный стандарт может использоваться как базовый технический документ, то регламент технического союза определяет обязательные границы безопасности и обращения продукции, включая ограничения по pH, механическим примесям и метанолу [3]. В прикладных моделях это означает, что для продукции, находящейся в обращении на рынке ЕАЭС, именно требования технического регламента должны рассматриваться как безусловные ограничения при расчёте допустимого ресурса [3].

Математическая модель должна, соответственно, следовать иерархии нормативов: сначала обязательные пределы технического регламента, затем показатели межгосударственного стандарта и, при необходимости, дополнительные внутренние критерии предприятия или изготовителя техники [1, 2, 3]. Такое структурирование повышает прикладную ценность модели и делает её пригодной для использования в цифровых системах принятия решений на предприятиях технического сервиса [8].

Практическая ценность математической модели возрастает, когда она может быть реализована в виде пошагового алгоритма. В общем случае алгоритм включает отбор пробы, измерение текущих значений параметров, сравнение их с нормативными пределами, оценку интенсивности изменения параметров и вычисление прогнозного интервала до достижения браковочного состояния [5, 6]. При этом алгоритм должен учитывать температуру жидкости, тип антифриза, условия разбавления и историю предыдущих замен, поскольку эти факторы существенно влияют на интерпретацию результатов [7, 9, 10].

Материалы исследования указывают на возможность реализации таких функций на микроконтроллерной базе с использованием АЦП и встроенной памяти для хранения калибровочных

зависимостей [7]. Это создаёт предпосылки для разработки переносных приборов, которые не просто измеряют отдельный параметр, но и автоматически рассчитывают степень износа охлаждающей жидкости, а также формируют рекомендацию по сроку следующего контроля или замены [8].

Однопараметрический подход удобен, но не всегда обеспечивает достаточную достоверность. Например, снижение pH может быть временно скомпенсировано остаточной щёлочностью, а повышенная плотность не обязательно указывает на деградацию присадок [1]. Поэтому более надёжной является многопараметрическая логика, при которой каждый измеренный показатель получает свой диагностический вес, а итоговое решение формируется по совокупности отклонений [5].

Такой подход может быть реализован в форме диагностической матрицы или интегрального индекса состояния. В этой матрице параметры, непосредственно связанные с безопасностью и коррозионной стойкостью, должны иметь более высокий приоритет, чем вторичные показатели. На практике это означает, что даже при сохранении нормальной плотности жидкость должна быть признана непригодной, если модель фиксирует устойчивое снижение pH, щёлочности или аномальный рост проводимости [1, 2].

Использование математических моделей остаточного ресурса охлаждающих жидкостей позволяет повысить экономичность и надёжность эксплуатации автомобилей. Преждевременная замена жидкости приводит к перерасходу материалов и увеличению затрат на техническое обслуживание, тогда как запоздалая замена повышает вероятность коррозионных повреждений, перегрева двигателя, разрушения насоса и засорения каналов радиатора продуктами коррозии [2, 8]. Ресурсная модель при этом выступает инструментом рационализации сервисных решений [5].

Для автотранспортных предприятий и сервисных центров внедрение таких моделей особенно актуально в условиях смешанного парка техники, где применяются жидкости разных классов и сроков службы. В этом случае универсальный календарный интервал замены оказывается малоэффективным, а модель по фактическому состоянию позволяет учитывать специфику конкретного автомобиля и реальную интенсивность старения ОЖ [7]. В перспективе такие модели могут быть встроены в цифровые журналы технического обслуживания, мобильные диагностические комплексы и автоматизированные системы мониторинга состояния техники [8-**10]**.

Разрабатываемая модель позволит прогнозировать срок замены ОЖ по данным мониторинга. В систему расчёта включены новые нормативные ограничения России и стран СНГ. Метод предназначен для реализации в системах технического сервиса или бортовой диагностики.

Список использованных источников

1. ГОСТ 28084-89. Жидкости охлаждающие низкозамерзающие. Общие технические условия. — М.: Издательство стандартов, 1990.

2. ГОСТ 33591-2015. Жидкости охлаждающие на основе гликолей. Технические требования. — М.: Стандартинформ, 2016.

3. ТР ТС 030/2012. О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям. — М., 2012.

4. ГОСТ Р 8.736-2011. ГСИ. Методы обработки результатов измерений. — М.: Стандартинформ, 2013.

5. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2016.

6. ГОСТ 27.301-95. Надёжность в технике. Расчёт надёжности. Основные положения. — М.: Стандартинформ, 1996.

7. Телков О.И., Космачёва А.Д., Ходяков А.А., Хлопков С.В., Данилов И.К. Анализ свойств антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания // Вестник РУДН. Сер.: Инженерные исследования. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 329–338. DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-4-329-338.

8. Болдин А.П., Максимов В.А. Основы научных исследований и патентоведения. — М.: Колос, 2001. — 272 с.

9. Шипилов А.А. Обзор и анализ конструкций систем принудительного охлаждения радиаторов легковых автомобилей // Фундаментальные и прикладные научные исследования: инновационный потенциал развития : Сб. ст. по материалам межд. науч.-практ. конф., Уфа, 18 окт. 2019 г. Ч. 1. — Уфа: НИЦ «Вестник науки», 2019. — С. 133–140..

10. Шипилов А.А., Хольшев Н.В. Обзор способов регулирования интенсивности охлаждения радиатора двигателя автомобиля // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сб. науч. тр. каф. ЭАТиС, посвящённый 90-летию Е.С. Кузнецова,

по материалам 77-й науч.-метод. конф. МАДИ, Москва, 29–30 янв. 2019 г. — М.: Техполиграфцентр, 2019. — С. 168–171.

УДК 629.113.06:621.43.066

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОХЛАЖДАЮЩИМ ЖИДКОСТЯМ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И СТРАНАХ СНГ

Щербашин Виктор Романович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», магистрант, к
e-mail: viktor.sherbaschin@yandex.ru

Кубасов Вадим Геннадьевич,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», старший преподаватель кафедры «Агроинженерия»
vgkubasov@yandex.ru

Прохоров Алексей Владимирович,
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», к.т.н., доцент кафедры «Агроинженерия»
e-mail: pav1981@bk.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ действующих нормативно-технических документов Российской Федерации и стран СНГ, регламентирующих качество охлаждающих жидкостей. Рассмотрены требования ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2], ТР ТС 030/2012 [3] и ТУ 6-02-751-86 [4].

Ключевые слова: охлаждающая жидкость, антифриз, ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2], ТР ТС 030/2012 [3], нормативные требования, диагностика

Качество охлаждающей жидкости определяет надёжность системы охлаждения и долговечность двигателя. С учётом обновления нормативной базы России и стран СНГ возникла необходимость сопоставления требований ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2] и ТР ТС 030/2012 [3], см. таблицу 1.

Таблица 1

Сравнение требований

Параметр	ГОСТ 28084-89	ГОСТ 33591-2015	ТР ТС 030/2012
pH	7,5–11,0	7,5–11,0	6,0–10,0
Температура кристаллизации	до −65 °C	до −36,4 °C (50%)	≤ −35 °C
Мех. примеси	не нормируется	не нормируется	≤ 0,03 %
Метанол	не нормируется	не нормируется	≤ 0,05 %
Коррозионное воздействие	нормируется	нормируется	косвенно ограничивается безопасностью

ГОСТ 28084-89 [1] продолжает применяться как базовый стандарт для низкозамерзающих ОЖ. ГОСТ 33591-2015 [2] гармонизирует требования в рамках межгосударственной стандартизации СНГ, а ТР ТС 030/2012 [3] вводит обязательные для рынка ЕАЭС ограничения и требования к маркировке ЕАС.

Этиленгликоль относится к вредным веществам 3-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76 [5]. Новые требования включают обязательный учёт ТР ТС 030/2012 [3], декларацию соответствия и соблюдение правил обращения с отработанными ОЖ в системе ЕАЭС.

Базовые требования к охлаждающим жидкостям в отечественной нормативной системе связаны с обеспечением трёх основных эксплуатационных функций: отвода теплоты от деталей двигателя, защиты системы охлаждения от замерзания и предупреждения коррозионно-кавитационного разрушения металлов. Согласно материалам диссертационного исследования, для жидкостей типа ОЖ-40 и ОЖ-65 по ГОСТ 28084-89 [1] нормируются плотность, температура начала кристаллизации,

температура начала перегонки, коррозионное воздействие на металлы, вспениваемость, водородный показатель и щёлочность [1].

Особое место в системе показателей занимает водородный показатель. Для жидкостей, регламентируемых ГОСТ 28084-89 [1], допустимый диапазон pH составляет 7,5–11,0, что обусловлено необходимостью поддержания щелочной среды, тормозящей развитие электрохимической коррозии чёрных металлов и алюминиевых сплавов [1, 2]. Одновременно действующий в ЕАЭС технический регламент ТР ТС 030/2012 [3] ограничивает диапазон pH интервалом 6,0–10,0, то есть верхняя граница ужесточена по сравнению с национальным стандартом [3]. Это означает, что при разработке диагностических критериев необходимо учитывать не только традиционные требования ГОСТ, но и обязательные регламентные ограничения рынка ЕАЭС [1, 3].

Щёлочность охлаждающей жидкости отражает её буферную способность и запас антикоррозионной устойчивости. В материалах исследования указывается, что для ОЖ-40 и ОЖ-65 минимально допустимое значение щёлочности составляет 10 см³, а снижение этого показателя является одним из ранних признаков истощения присадочного пакета [1]. На практике уменьшение щёлочного резерва сопровождается снижением pH, увеличением электрической проводимости и усилением коррозионной активности раствора, особенно в присутствии растворённых солей жёсткости и продуктов износа металлов [7, 8].

Система охлаждения современного автомобиля включает элементы из чугуна, стали, алюминиевых сплавов, меди, латуни, припоя, а также резиновых и полимерных материалов. Поэтому нормативные документы устанавливают не единый интегральный показатель качества, а комплекс критериев совместимости жидкости с различными конструкционными материалами [1, 2]. Для ГОСТ 28084-89 [1] коррозионное воздействие на медь, латунь, сталь, чугун и алюминий ограничено величиной не более 0,1 г/(м²·сут), а для припоя — не более 0,2 г/(м²·сут) [1, 10, 11].

В ГОСТ 33591-2015 [2] подход к оценке коррозионной активности стал более детализированным: вводятся испытания в стеклянной посуде, имитация эксплуатационных условий, а также специальные тесты для оценки воздействия на литые алюминиевые сплавы и кавитационно-эрозионной стойкости водяных насосов [2]. Такое расширение требований связано с массовым распространением алюминиевых радиаторов, теплообменников и блоков цилиндров, для которых даже кратковременное нарушение защитных свойств ОЖ может привести к локальной питтинговой коррозии [2, 9, 10].

Не менее важна совместимость ОЖ с резинотехническими изделиями. В исследовании отмечено, что набухание стандартных резин по ГОСТ 9.030-74 не должно превышать 5 %, поскольку превышение этого предела приводит к потере эластичности уплотнений, нарушению герметичности соединений и появлению утечек в зоне патрубков, корпуса термостата и насоса [5]. Таким образом, нормативные требования к ОЖ должны рассматриваться не только как критерии химического качества самой жидкости, но и как показатели её функциональной совместимости со всей системой охлаждения [1, 2].

Материалы диссертации показывают, что традиционные отечественные жидкости ОЖ-40 и ОЖ-65 относились к силикатно-фосфатному типу и были ориентированы прежде всего на технику советского и раннего постсоветского периода [4]. В дальнейшем на рынок СНГ активно вошли карбоксилатные жидкости классов G11, G12, G12+ и G12++, различающиеся составом ингибиторов коррозии, сроком службы и совместимостью с требованиями производителей автомобилей [2, 8].

Для современного этапа развития характерна унификация отечественных и межгосударственных требований с международной системой стандартов ASTM и OEM-спецификациями автопроизводителей. Именно поэтому введение ГОСТ 33591-2015 [2] стало важным шагом для стран СНГ: стандарт сближает отечественную практику оценки ОЖ с международной системой испытаний и создаёт условия для обращения более широкого спектра жидкостей на рынке ЕАЭС [2]. Вместе с тем применение новых жидкостей на старом парке машин должно сопровождаться контролем совместимости, так как смешивание силикатных и карбоксилатных антифризов может приводить к выпадению осадка, снижению теплопередачи и ускоренному старению жидкости [8, 9].

Классические методы контроля качества охлаждающих жидкостей регламентированы отдельными стандартами и методиками. В исследовании перечислены измерения плотности, температуры начала кристаллизации, pH, щёлочности, вспениваемости и коррозионного воздействия [1, 2]. Однако большинство указанных методов требует лабораторного оснащения, применения реактивов, выдерживания регламентированной температуры и использования металлических образцов, что ограничивает возможности их оперативного применения в условиях автотранспортных предприятий и сервисных станций [8, 9].

С практической точки зрения это создаёт противоречие между формально высокими требованиями нормативной базы и ограниченными возможностями повседневного контроля. Для предприятия технического сервиса важно не только установить соответствие жидкости ГОСТ или ТР ТС, но и сделать это быстро, без сложной пробоподготовки и без длительного вывода автомобиля из

эксплуатации [8, 9]. В этой связи целесообразно усилить акцент на необходимости перехода к инструментальным экспресс-методам, основанным на измерении косвенных параметров, в первую очередь электрической проводимости и её температурно-концентрационных зависимостей [8, 9].

Помимо физико-химических характеристик, современные требования к ОЖ включают параметры безопасного обращения продукции. ТР ТС 030/2012 [3] требует подтверждения соответствия специальных жидкостей в форме декларации, а продукция, выпускаемая в обращение на территории ЕАЭС, подлежит маркировке единым знаком ЕАС [3]. Это особенно важно для охлаждающих жидкостей, так как их состав часто включает этиленгликоль — токсичное вещество, требующее строгого соблюдения правил хранения, перевозки и утилизации [5].

В ГОСТ 28084-89 [1] и сопутствующих документах установлены требования к упаковке, маркировке, транспортированию и мерам безопасности при работе с этиленгликолевыми составами [1, 5, 6, 7]. Следовательно, качество ОЖ в современном понимании — это не только способность обеспечивать необходимый тепловой режим двигателя, но и соответствие требованиям технического регулирования, промышленной безопасности и экологически безопасного обращения [3].

Расширение нормативной базы в области охлаждающих жидкостей имеет важное практическое значение для предприятий автотранспорта, сервисных центров, производителей антифризов и учебно-научных организаций. Для эксплуатационных служб гармонизация требований позволяет формировать единые критерии браковки и замены ОЖ, особенно в смешанном парке техники, где одновременно работают автомобили отечественного и зарубежного производства [1, 2, 3]. Для производителей жидкостей переход к межгосударственным нормам означает необходимость подтверждать стабильность состава, безопасность продукции и соответствие расширенному набору испытаний [2, 3, 10, 11].

Для системы профессионального образования и инженерных исследований данная гармонизация также принципиальна. Она требует пересмотра методик лабораторных работ, учебных пособий и рекомендаций по техническому обслуживанию автомобилей, чтобы будущие специалисты ориентировались не только на устоявшиеся нормы ГОСТ 28084-89 [1], но и на межгосударственные стандарты ЕАЭС и современные методы контроля [8, 9]. Следовательно, совершенствование нормативной базы непосредственно влияет на содержание инженерной подготовки и качество решений, принимаемых в практике технической эксплуатации автомобилей [1, 2, 3].

Нормативная база РФ и СНГ по охлаждающим жидкостям включает ГОСТ 28084-89 [1], ГОСТ 33591-2015 [2], ТР ТС 030/2012 [3] и ТУ 6-02-751-86 [4]. Новые требования касаются pH, ограничений по механическим примесям и метанолу, а также подтверждения соответствия продукции. Изменения нормативной базы необходимо учитывать при диагностировании ОЖ в эксплуатации.

Список использованных источников

1. ГОСТ 28084-89. Жидкости охлаждающие низкозамерзающие. Общие технические условия. — М.: Издательство стандартов, 1990.

2. ГОСТ 33591-2015. Жидкости охлаждающие на основе гликолей. Технические требования. — М.: Стандартинформ, 2016.

3. ТР ТС 030/2012. О требованиях к смазочным материалам, маслам и специальным жидкостям. — М., 2012.

4. ТУ 6-02-751-86. Жидкости охлаждающие ОЖ-40 и ОЖ-65. — М.: Минхимпром СССР, 1986.

5. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ. Вредные вещества. — М.: Издательство стандартов, 1977.

6. ГОСТ 14192-96. Маркировка грузов. — М.: Стандартинформ, 1997.

7. ГОСТ 19433-88. Грузы опасные. Классификация и маркировка. — М.: Издательство стандартов, 1989.

8. Картошкин, А. П. Технологические жидкости для автотракторной техники [Текст] : справочник : учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы среднего профессионального образования по специальностям 190631 "Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта", ПМ.01 "Техническое обслуживание и ремонт автотранспорта", 110809 "Механизация сельского хозяйства", ПМ.01 "Подготовка машин, механизмов, установок, приспособлений к работе, комплектование сборочных единиц", ПМ.02 "Эксплуатация сельскохозяйственной техники", ПМ.03 "Техническое обслуживание и диагностирование неисправностей сельскохозяйственных машин и механизмов, ремонт отдельных деталей и узлов" / А. П. Картошкин. - Москва : Академия, 2012. - 236, [1] с. : ил., табл.; 22 см. - (Среднее профессиональное образование. Автомобильный транспорт).; ISBN 978-5-7695-7963-9

9. Телков О.И., Космачёва А.Д., Ходяков А.А., Хлопков С.В., Данилов И.К. Анализ свойств антифризов до и после их эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания // Вестник РУДН. Сер.:

Инженерные исследования. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 329–338. DOI: 10.22363/2312-8143-2021-22-4-329-338.

10. Шипилов А.А. Обзор и анализ конструкций систем принудительного охлаждения радиаторов легковых автомобилей // Фундаментальные и прикладные научные исследования: инновационный потенциал развития : Сб. ст. по материалам межд. науч.-практ. конф., Уфа, 18 окт. 2019 г. Ч. 1. — Уфа: НИЦ «Вестник науки», 2019. — С. 133–140. — EDN TELJVK.

11. Шипилов А.А., Хольшев Н.В. Обзор способов регулирования интенсивности охлаждения радиатора двигателя автомобиля // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сб. науч. тр. каф. ЭАТиС, посвящённый 90-летию Е.С. Кузнецова, по материалам 77-й науч.-метод. конф. МАДИ, Москва, 29–30 янв. 2019 г. — М.: Техполиграфцентр, 2019. — С. 168–171. — EDN YWVNZB.

СЕКЦИЯ 8

ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

УДК 378.1
74.04: Организация образования

ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ СРЕДУ ИНСТИТУТА АРХИТЕКТУРЫ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ТРАНСПОРТА ТГТУ

Монастырев Павел Владиславович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, директор Института архитектуры, строительства и транспорта, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
e-mail: *monastyrev68@mail.ru*

Гуськов Артем Анатольевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта»
e-mail: *tyoma-1@mail.ru*

Введение

Современный этап развития высшей инженерной школы характеризуется глубокой системной трансформацией, обусловленной стремительным вхождением технологий искусственного интеллекта во все сферы реального сектора экономики. Для Института архитектуры, строительства и транспорта («АрхСиТ») Тамбовского государственного технического университета (ТГТУ) вопрос интеграции интеллектуальных систем в образовательную среду перешел из плоскости теоретических дискуссий в область приоритетных задач стратегического развития. Это продиктовано не только глобальными трендами Индустрии 4.0, но и насущной необходимостью формирования у выпускников принципиально новых компетенций, отвечающих запросам высокотехнологичного рынка труда.

Специфика подготовки в институте «АрхСиТ» – на стыке точных инженерных расчетов, архитектурного творчества и управления сложными транспортно-логистическими системами – требует особого методологического подхода к цифровизации [10, 11, 12]. Искусственный интеллект сегодня рассматривается нами не просто как вспомогательный программный инструментарий, а как мощный катализатор интеллектуальной деятельности, способный обеспечить беспрецедентный уровень индивидуализации обучения. Институт ставит перед собой задачу создать такую научно-образовательную экосистему, где ИИ выступает когнитивным партнером студента и преподавателя, позволяя делегировать рутинные аналитические операции алгоритмам и концентрируя человеческий ресурс на решении творческих, нестандартных проектных задач.

В данной статье представлен анализ первых результатов внедрения интеллектуальных технологий в учебный процесс института, обозначены ключевые методологические барьеры и очерчены перспективы развития цифровой образовательной среды, направленной на подготовку инженерной элиты, способной проектировать будущее в условиях неопределенности и высокой технологической динамики.

Материалы и методы

Методологическую основу данного исследования составляет системный анализ процессов цифровизации высшего технического образования, а также комплексный подход к оценке эффективности внедрения инновационных технологий в образовательную траекторию Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ.

В качестве эмпирической базы исследования были использованы:

– статистические данные мониторинга внедрения ИИ в ведущих российских и зарубежных вузах (аналитические отчеты НИУ ВШЭ за 2025 год, кейсы MIT, Стэнфордского и Университета Цинхуа);

– результаты внутреннего анкетирования и мониторинга академической активности студентов и профессорско-преподавательского состава института «АрхСиТ» ТГТУ, направленные на выявление уровня готовности к использованию генеративных моделей в проектной деятельности;

– профильные образовательные программы по направлениям «Архитектура», «Строительство», «Дизайн», «Сервис», «Наземные транспортно-технологические комплексы» и «Агроинженерия», проанализированные на предмет возможности интеграции интеллектуальных систем в лекционные, лабораторные и практические занятия.

В исследовании применялись следующие методы:

– *сравнительно-сопоставительный анализ*: изучение международного и отечественного опыта внедрения цифровых двойников кампусов и адаптивных образовательных платформ для выявления наиболее эффективных практик, применимых в условиях регионального опорного технического университета;

– *метод экспертных оценок*: анализ влияния ИИ-инструментов на качество курсового и дипломного проектирования, а также оценка рисков «инфляции оценок» и снижения когнитивной вовлеченности обучающихся;

– *моделирование образовательных процессов*: разработка концептуальных моделей виртуальных лабораторий и интеллектуальных систем мониторинга техники безопасности на учебных строительных площадках (на основе технологий видеоаналитики);

– *педагогический эксперимент*: первичная апробация элементов генеративного дизайна и BIM-проектирования с использованием ИИ-анализаторов в рамках междисциплинарных курсовых проектов.

Особое внимание в методологии уделено этическим и правовым аспектам использования нейросетей, что потребовало привлечения методов дедуктивного анализа при разработке внутренних регламентов и критериев оценки работ, выполненных с применением алгоритмов искусственного интеллекта. Исследование охватывает период 2024–2026 гг., что позволяет проследить динамику изменения требований рынка труда к цифровым компетенциям выпускников инженерно-строительного профиля.

Методология

По данным опроса НИУ ВШЭ (2025 г.), 87% студентов ведущих вузов России уже применяют ИИ для выполнения учебных задач: 10,7% – ежедневно, 36,5% – более одного раза в неделю, 32,9% – несколько раз в месяц. В среднем по стране около 10% вузов официально используют ИИ в образовательном процессе, но перспективы внедрения таких технологий видят уже 50% организаций (рис. 1). В мире наблюдается схожая тенденция: генеративный ИИ активно внедряется в университетах США, Европы и Азии, что подтверждается ростом числа публикаций и кейсов по теме.



Рисунок 1 – Статистические показатели интеграции технологий искусственного интеллекта в высшую школу

Внедрение искусственного интеллекта в образование – глобальный тренд. Ведущие университеты мира активно интегрируют ИИ в учебный процесс:

– MIT (США) реализует масштабные проекты по созданию адаптивных образовательных платформ, где ИИ подбирает индивидуальные траектории обучения для студентов инженерных специальностей. В MIT активно используются симуляторы для архитектурного проектирования и строительства;

– Stanford University внедрил ИИ-помощников для студентов-медиков и инженеров, а также использует генеративные модели для генерации проектных заданий и проверки кода;

– Tsinghua University (Китай) делает ставку на цифровые двойники кампусов и лабораторий, а также на автоматизацию научных исследований с помощью ИИ [1].

В России лидерами по внедрению ИИ являются НИУ ВШЭ, ИТМО, МГУ, СПбПУ. ВШЭ одной из первых внедрила адаптивные курсы и чат-боты для консультаций студентов. ИТМО активно развивает цифровые лаборатории для инженерных и IT-направлений. Сравнительный анализ подходов внедрения ИИ в образование в разных странах мира представлен в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ подходов ИИ в образование в разных странах мира

Страна	Лидирующие направления	Особенности внедрения
США	IT, инженерия, медицина	Индивидуализация траекторий, симуляции, генеративный ИИ
Китай	Инженерия, цифровые двойники	Масштабные цифровые экосистемы, интеграция с производством
Россия	Наука, инженерия, управление данными	Акцент на научные исследования, развитие цифровых лабораторий

Россия пока уступает по масштабу инфраструктурных проектов (например, цифровых двойников вузов), но опережает в части интеграции ИИ в научные исследования и разработки. В управлении образовательным процессом западные и азиатские университеты внедряют ИИ активнее российских коллег.

Исследования показывают, что после появления генеративных моделей (например, ChatGPT, ГигаЧат, Алиса AI и др.) в университетах с высокой долей письменных и программных заданий резко выросло количество максимальных оценок. В США доля высоких оценок увеличилась на 13% (примерно на 30% выше уровня 2022 года), а средний балл вырос на 0,12 пункта. Это явление получило название «инфляция оценок» и связано с тем, что студенты используют ИИ для выполнения домашних заданий. Однако в дисциплинах с очными экзаменами эффект оказался существенно слабее, что говорит о необходимости перестройки системы оценки [2, 4].

Согласно статистическим данным, порядка 25% выпускных квалификационных работ в Российской Федерации подготавливаются с привлечением инструментов генеративного ИИ. При этом наблюдается значительная региональная дифференциация: в Дальневосточном федеральном округе нейросетевые алгоритмы наиболее интенсивно интегрированы в научно-исследовательские циклы. Напротив, административно-управленческий контур высшей школы демонстрирует минимальную динамику цифровой трансформации. Так, в Центральном федеральном округе индекс внедрения интеллектуальных систем в процессы управления вузами оценивается всего в 0,5 балла по пятибалльной шкале, что указывает на наличие существенного потенциала для оптимизации менеджмента [8].

Перспективные форматы интеграции ИИ в учебный процесс:

1. Лекционные занятия:

– Адаптивное управление темпом и содержанием лекции. В нашей практике стараемся отойти от традиционного «вещания» материала по жесткому плану. ИИ-аналитика сегодня позволяет нам корректировать ход занятия в реальном времени. Опираемся на данные входного контроля или коротких срезов знаний. Если алгоритм показывает, что группа «споткнулась» на базовых расчетах, система сигнализирует лектору о необходимости подробного разбора темы. В таких случаях оперативно подключаем дополнительные схемы и инженерные кейсы, чтобы выровнять уровень подготовки и не потерять внимание аудитории из-за накопленного непонимания [6];

– Автоматизация типовых консультаций на массовых потоках. Для больших аудиторий ТГТУ (100–150 человек) критической проблемой всегда был дефицит времени на личный контакт. Это решено через внедрение чат-ботов, которые взяли на себя роль «первой линии» поддержки. Оказалось, что до 80% вопросов студентов – это типовые запросы по методичкам и регламентам. Передав их боту, высвобождается время преподавателя для действительно сложных профессиональных дискуссий и разбора нетривиальных проектных коллизий, которые ИИ пока решить не в состоянии;

– Цифровая дистилляция и структурирование материала. Благодаря технологиям распознавания речи (NLP) живое выступление лектора переводится в полноценный рабочий конспект. Важно, что это не просто «портянка» текста, а структурированная база данных. Система сама выделяет ключевые термины, формирует глоссарий и генерирует вопросы для самопроверки именно по тем примерам, которые прозвучали в аудитории. Это избавляет студентов от необходимости механически переписывать слайды и позволяет им сосредоточиться на логике расчетов и конструирования;

2. Лабораторный практикум:

– Цифровые испытания как альтернатива дорогостоящему эксперименту. В институте «АрхСиТ» всё чаще заменяются натурные испытания конструкций (которые часто слишком дороги или попросту опасны при доведении до разрушения) работой в ИИ-симуляторах [3]. Виртуальное моделирование напряженно-деформированного состояния балок или анализ транспортных развязок позволяет студенту провести десятки итераций эксперимента за одну пару [10]. Это дает наглядное понимание того, как ошибка в один знак в расчетах может привести к обрушению модели – опыт, который в реальности получить практически невозможно;

– Переход от «ручного» заполнения таблиц к машинному анализу. Меняется сама философия обработки результатов. Вместо механического переноса данных из приборов в таблицы Excel, студенты учатся применять алгоритмы машинного обучения. ИИ помогает находить скрытые закономерности в массивах данных и автоматически визуализировать итоги исследования. Это максимально приближает учебную лабораторию к условиям работы в современных проектных институтах и КБ, где автоматизация аналитики уже стала стандартом;

– Тьюторское сопровождение в цифровой среде. Внедрение ИИ-ассистентов в структуру виртуальных лабораторий позволяет студенту получать мгновенную методическую помощь в процессе выполнения работы. Система отслеживает алгоритм действий обучающегося, своевременно указывает на отклонения от ГОСТ или методики эксперимента и предлагает варианты корректировки программы исследований;

3. Практическая подготовка:

– Персонализация дидактических задач. Генерация индивидуальных кейсов, адаптированных к предыстории академических успехов обучающегося. Интеллектуальный модуль анализирует типологию ранее допущенных ошибок, формируя задачи оптимального уровня сложности;

– Сценарное моделирование проектных ситуаций. Реализация комплексных симуляций (от архитектурного проектирования до организации цепей поставок), максимально приближенных к условиям реальной производственной среды;

– Автоматизация нормативного контроля и верификация проектных данных. Интегрированы ИИ-анализаторы непосредственно в контур информационного моделирования (BIM) для оперативной проверки энергоэффективности и экологических параметров застройки [7]. Ключевое отличие этого подхода – проведение «сквозного» аудита модели на соответствие СП и техрегламентам в режиме реального времени, а не постфактум. Фактически, это переход от констатации ошибок в готовом чертеже к их предиктивному предотвращению. Теперь алгоритм сопоставляет эскизные гипотезы с базой верифицированных инженерных решений ТГТУ, что позволяет отсекать коллизии еще на этапе концепта, когда внесение правок не требует полной переработки документации.

Результаты и их обсуждение

Мониторинг образовательного процесса в институте «АрхСиТ» подтвердил, что внедрение ИИ-технологий напрямую коррелирует с ростом академической активности обучающихся. Были систематизированы показатели эффективности и выявлена устойчивая тенденция к повышению качества проектных работ. Наиболее показательные результаты достигнуты в цикле выпускающих дисциплин. Здесь нейросетевые алгоритмы перестали восприниматься студентами как вспомогательный справочный ресурс и стали базовым инструментом вариантного проектирования и параметрического анализа.

В таблице 2 приведены обобщенные данные, характеризующие эффективность внедрения ИИ-инструментария в образовательную практику института «АрхСиТ» ТГТУ.

Таблица 2

Сравнительные показатели эффективности классического и ИИ-ориентированного подходов в инженерном образовании

Параметр оценки	Классический подход	Подход с интеграцией ИИ	Эффект / Изменение
Время на генерацию вариантных решений (архитектура)	12–16 часов	1,5–2 часа	Сокращение в 8 раз
Средний балл (теоретические дисциплины)	3,92	4,28	Рост на 9,2% (риск «инфляции»)
Точность прочностных расчетов (снижение ошибок)	Базовая	Повышенная на 20%	Валидация через ИИ-анализаторы
Уровень вовлеченности в научно-исследовательскую работу студентов (НИРС)	15% студентов	35% студентов	Рост интереса к инновациям

Данные таблицы наглядно демонстрируют, что наиболее существенный технологический скачок произошел в области сокращения временных затрат на вариантное проектирование. В то же время зафиксированное повышение среднего балла в теоретических модулях нуждается в критическом осмыслении. Этот рост обусловлен не только качественным улучшением усвоения знаний, но и активным использованием студентами нейросетей для генерации развернутых ответов. Данный факт служит веским аргументом в пользу нашей гипотезы о необходимости фундаментальной переработки фондов оценочных средств (ФОС). В эпоху доступного генеративного ИИ традиционные форматы проверки знаний теряют свою релевантность и требуют перехода к более сложным, интерактивным формам аттестации.

Внедрение нейросетевых алгоритмов в учебный процесс будущих архитекторов позволило выйти на уровень концептуального моделирования, ранее доступный только ведущим проектным бюро. Студенты получили возможность проводить экспресс-анализ инсоляции и эргономики уже на стадии эскиза.

На рисунке 2 продемонстрирован результат интеграции генеративных алгоритмов в курсовое проектирование. Важно отметить, что ИИ здесь выступает не как автор, а как инструмент оптимизации параметров, заданных студентом-проектировщиком. На схеме продемонстрировано геометрически корректное построение зон затенения (серый цвет) для условий летнего солнцестояния. Длинная тень от высотного Корпуса А (16 эт.) перекрывает часть фасада Корпуса Б (6 эт.). Красным цветом (1.9 ч.*) выделена зона дефицита инсоляции, требующая оптимизации проектного решения.

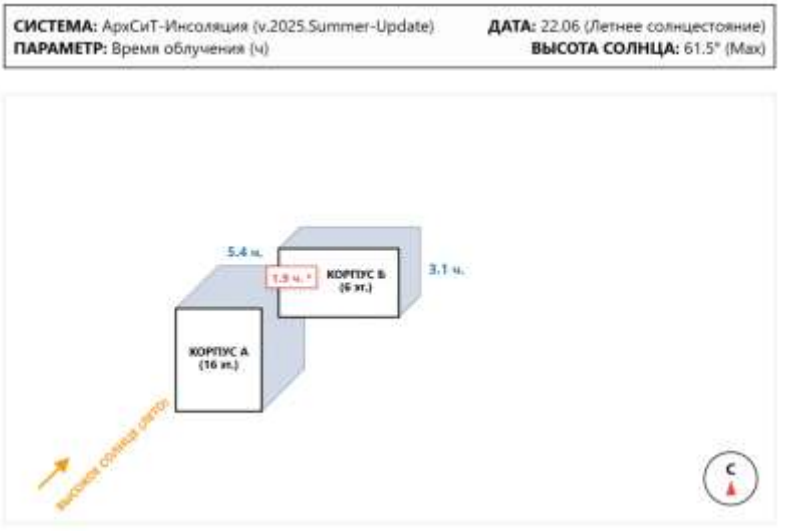


Рисунок 2 – Пример генерации вариантных планировочных решений жилого комплекса

Для обеспечения адресности внедрения ИИ авторами была разработана матрица соответствия интеллектуальных технологий и конкретных профессиональных задач по образовательным программам, реализуемым в институте «АрхСиТ» (табл. 3).

Таблица 3

Матрица внедрения ИИ-технологий по направлениям подготовки института «АрхСиТ» ТГТУ

Направление	Ключевые ИИ-инструменты	Область практического применения
Архитектура	Generative Design, Stable Diffusion	Вариантное проектирование фасадов, фотореалистичная визуализация
Строительство	BIM-AI Analyzers, Видеоаналитика	Автоматизация расчетов конструкций, контроль ТБ на объектах
Агроинженерия	Computer Vision, IoT-аналитика	Мониторинг состояния сельхозтехники, предиктивное земледелие
Сервис (логистика)	Алгоритмы оптимизации графов	Маршрутизация транспортных потоков, управление складскими запасами

Особое значение для обеспечения безопасности строительного производства имеет использование систем компьютерного зрения. Например, на практических занятиях по дисциплине «Технология строительных процессов» элементы мониторинга, позволяющие в реальном времени идентифицировать нарушения регламентов охраны труда.

На рисунке 3 представлен интерфейс системы видеоаналитики, которая внедряется в учебный процесс для формирования у будущих руководителей строительного производства навыков работы в цифровой среде управления безопасностью. ИИ-модуль выполняет комплексную проверку: наличие защитной каски, сигнального жилета и соблюдение границ опасных зон (R=25 м). Для рабочего ID_112 зафиксировано критическое сочетание нарушений: отсутствие специальной одежды и несанкционированное нахождение в зоне работы крана. Сетка 5×5 м позволяет верифицировать пространственные параметры объектов.

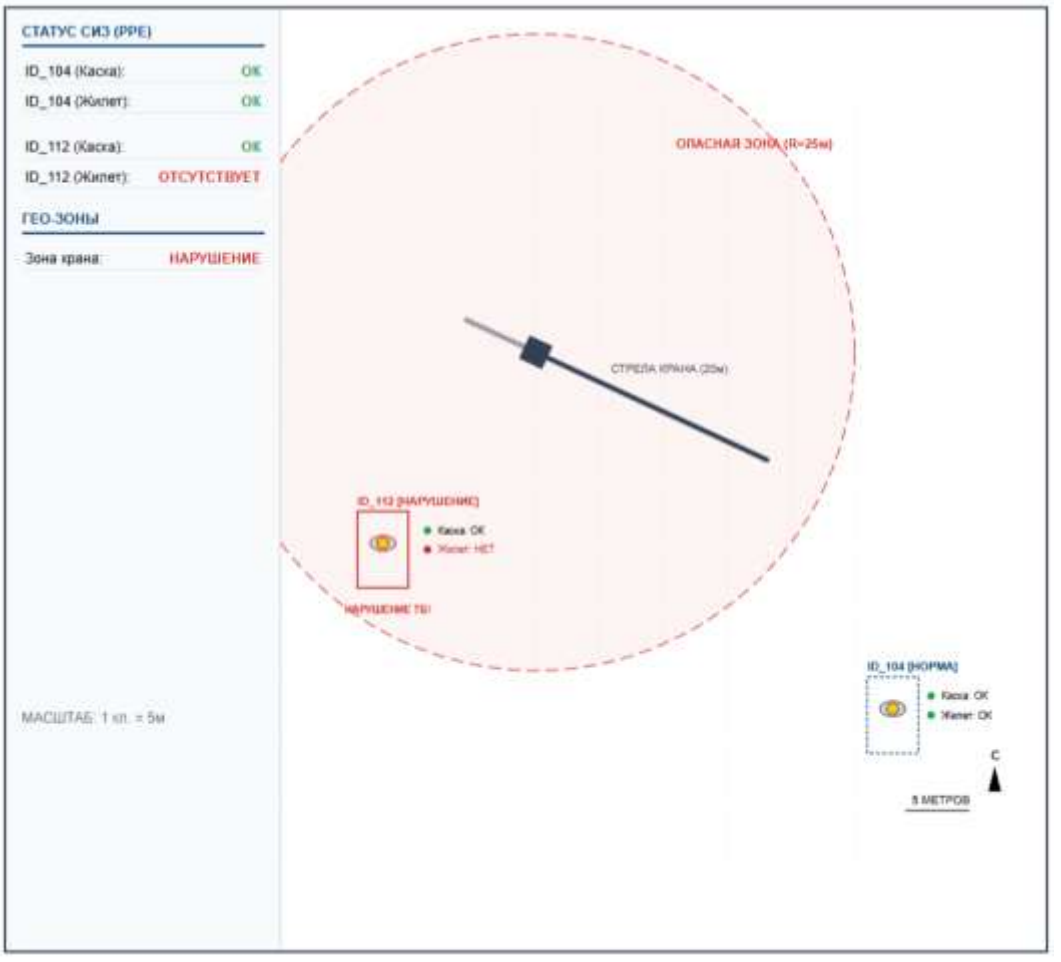


Рисунок 3 – Схема работы системы интеллектуального мониторинга строительной площадки

Хотя модернизация серверного парка и приобретение лицензионного ПО (включая специализированные AI-надстройки для BIM-систем) сопряжены со значительными капиталовложениями, долгосрочный экономический эффект от данных мер несомненен. Он выражается прежде всего в качественном росте конкурентоспособности выпускников и расширении пула индустриальных партнеров. По произведенным расчетам, период возврата инвестиций в цифровую среду института «АрхСиТ» составит от 3 до 5 лет, что станет возможным благодаря активизации междисциплинарных хоздоговорных исследований и росту грантовой активности.

Вместе с тем форсированная интеграция инструментов искусственного интеллекта в академическое пространство неизбежно сталкивается с системными вызовами [5, 9]. Опираясь на накопленный опыт, были систематизированы основные группы барьеров, требующие приоритетного управленческого и методического реагирования (табл. 4).

Таблица 4

Классификация рисков внедрения ИИ в образовательную среду института и стратегии их минимизации

Категория риска	Содержание проблемы	Стратегия нивелирования
Технологический	Недостаточная мощность локальных серверов для работы со сложными BIM-моделями и ИИ-анализаторами	Модернизация ИТ-инфраструктуры, переход на гибридные облачные вычисления
Кадровый	Консервативный подход части ППС, дефицит компетенций в области оперативного проектирования промптов	Реализация циклов повышения квалификации, создание системы внутреннего наставничества
Методический	Отсутствие верифицированных методик оценки работ, созданных в соавторстве с ИИ	Разработка новых стандартов аттестации, акцент на проектную деятельность и устную защиту
Этический	Риски нарушения академической честности и авторского права	Внедрение локальных регламентов использования ИИ и систем детектирования машинного текста

В процессе сбора данных предсказуемо наблюдалось психологическое сопротивление части коллектива, вызванное опасениями «обезличивания» учебного процесса. Позиция авторов в этом вопросе жесткая: ИИ не является альтернативой живому преподавателю. Рассматривали его как инструмент вынужденной, но необходимой эволюции педагогической роли. Лектор перестает быть «живым учебником», просто транслирующим информацию. Его функция смещается в сторону менторства и наставничества, где он выступает куратором проектного поиска и финальным экспертом, верифицирующим качество инженерных решений.

Пятилетний план развития института «АрхСиТ» базируется на создании единой информационной среды института. Это не просто закупка лицензий на ПО, а развитие детальной цифровой копии («двойника») кампуса и лабораторий, которая используется как испытательный полигон для междисциплинарных задач. Координирующим ядром этой работы стал уже действующий Центр цифровых компетенций ТГТУ. Сегодня он перерос формат ресурсной базы и стал реальной площадкой взаимодействия для архитектурных, строительных и транспортных кафедр. Именно здесь происходит «приземление» общих ИИ-алгоритмов и их адаптация под конкретные нужды региональной инженерной практики.

Основные векторы развития Центра в интересах института «АрхСиТ» включают (рис. 4):

– *Синтез компетенций в рамках междисциплинарных проектных групп.* Выстраивается работа Центра вокруг создания команд, где архитекторы и конструкторы работают в прямой связке с ИТ-разработчиками. Ключевая задача здесь – преодолеть «потребительский барьер» и перейти от использования стороннего софта к написанию собственных алгоритмов и скриптов для автоматизации параметрического синтеза. Фактически, студентов обучаются не просто работать в готовых программах, а создавать собственные микросервисы, превращая абстрактную теорию машинного обучения в прикладной инженерный инструментарий;

– *Развитие аналитического функционала «Цифрового двойника» кампуса.* Центр берет на себя роль оператора по превращению статической информационной модели университета в динамическую платформу. Приоритет отдан внедрению алгоритмов предиктивной диагностики: ИИ обучается прогнозировать энергопотребление зданий и оценивать остаточный ресурс инженерных коммуникаций ТГТУ. Для студентов направления «Строительство» это становится реальным полигоном для освоения технологий Big Data и тестирования систем в виртуальной среде, максимально приближенной к эксплуатационным условиям;

– *Адресная сертификация и развитие системы микроквалификаций (Micro-credentials).* Дополняется квалификационный профиль выпускника института «АрхСиТ» набором «быстрых» компетенций, которые подтверждаются внутренними именными сертификатами. В учебные программы внедряются специализированные треки по алгоритмическому дизайну, нейросетевой визуализации и интеллектуальному управлению транспортными потоками. Такой подход позволяет студенту сформировать конкурентное портфолио еще до получения диплома, отвечая на конкретные точечные запросы работодателей, нуждающихся в специалистах с навыками работы в цифровой среде;

– *Индустриальная апробация и технологический трансфер.* Центр де-факто превращается в экспериментальную базу для обкатки ИИ-решений в интересах крупнейших девелоперов региона. Используется площадка Центра для тестирования систем видеоаналитики и контроля промышленной безопасности (СИЗ) на реальных объектах. Это позволяет «приземлить» учебный процесс: студенческие разра-

ботки проходят жесткую валидацию в условиях реального строительного бизнеса, а вуз получает возможность транслировать актуальную производственную повестку непосредственно в темы курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.



Рисунок 4 – Стратегическая модель развития Центра цифровых компетенций ТГТУ как интеллектуального хаба института «АрхСиТ»

Данные векторы развития Центра цифровых компетенций способствуют его эволюции из вспомогательного подразделения в стратегический интеллектуальный хаб. Его работа должна быть направлена на формирование новой инженерной культуры, в которой владение инструментарием ИИ становится неотъемлемым компонентом профессионального мышления современного инженера. Следует отметить, что инвестиции в ИИ – это инвестиции в капитализацию бренда ТГТУ. Повышение качества проектных решений на 15–25% и сокращение временных затрат на рутинные операции позволяют институту более эффективно использовать бюджет времени профессорско-преподавательского состава, переориентируя его на высокоуровневые научные исследования.

Резюмируя результаты проведенного анализа и апробации элементов искусственного интеллекта в образовательной среде Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ, необходимо констатировать: университеты находятся в точке смены технологического уклада в высшей инженерной школе. Интеграция ИИ – это не только технический апгрейд учебных аудиторий, но и глубокая трансформация самой философии подготовки специалиста, где на первый план выходит способность к критическому анализу, верификации данных и управлению сложными интеллектуальными системами.

Для наглядного представления векторов трансформации была составлена сводная таблица изменений, которые претерпевает образовательный процесс в условиях цифровой среды института (табл. 5).

Таблица 5

Результаты трансформации образовательной среды института под влиянием технологий ИИ

Параметр системы	Традиционная модель образования	Модель ИИ-ориентированной среды института
Роль преподавателя	Основной источник и транслятор знаний	Ментор, модератор процесса, эксперт по верификации ИИ-решений.
Образовательный трек	Линейный, унифицированный для всей группы	Адаптивный, персонализированный на основе аналитики успеваемости.
Методика проектирования	Вариантный поиск вручную или в CAD-системах	Генеративный дизайн, оптимизация параметров нейросетями
Система оценивания	Контроль конечного результата (чертеж/отчет)	Оценка процесса работы («проектные дневники», устная защита)
Целевой ориентир	Формирование базовых навыков по ГОСТ	Подготовка инженера-исследователя для Индустрии 4.0

В долгосрочной перспективе (горизонт 5–10 лет) можно прогнозировать переход к формату «умного кампуса», где образовательная среда сама будет подстраиваться под когнитивные особенности каждого обучающегося.

На рисунке 5 представлена концепция «Выпускника будущего», которая формируется в стенах института «АрхСиТ» ТГТУ. Инженер новой формации – это профессионал, который не конкурирует с ИИ, а использует его как мощный мультипликатор собственных творческих и аналитических способностей.

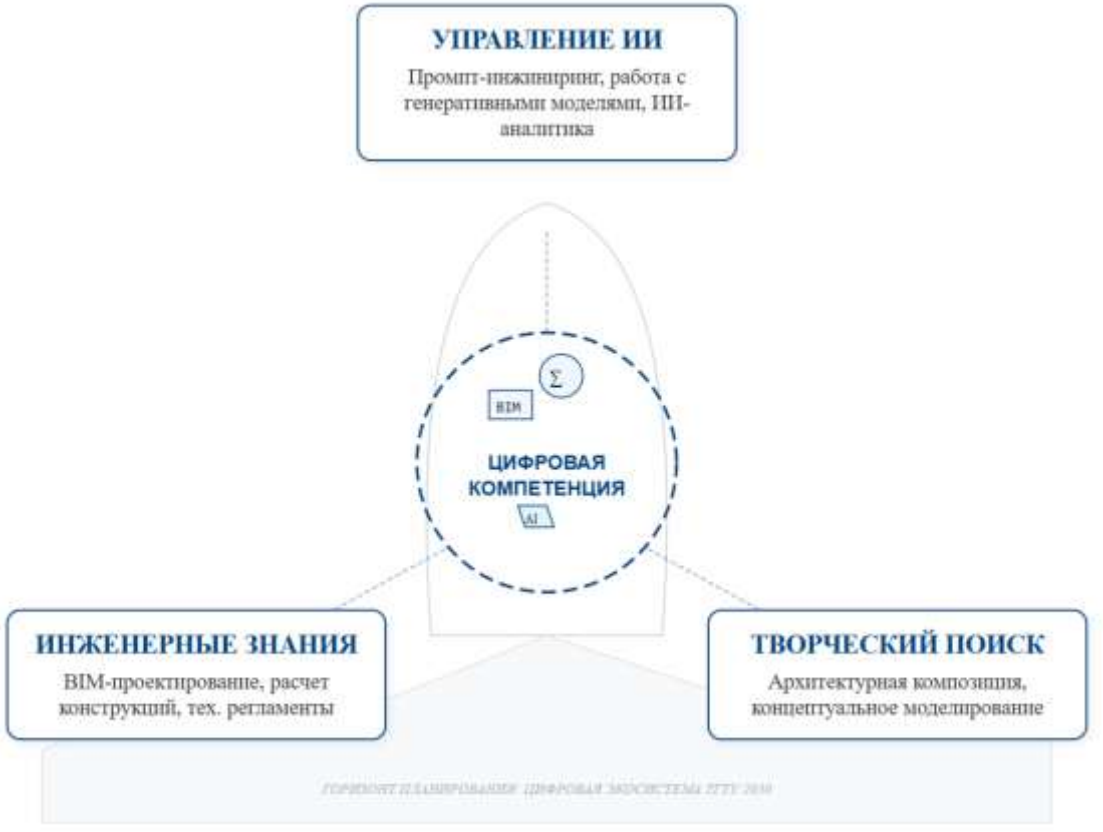


Рисунок 5 – Модель цифровой компетенции выпускника института «АрхСиТ» ТГТУ

Выводы

1. Смена парадигмы в проектной методологии. Опыт внедрения ИИ-модулей в практику института «АрхСиТ» показал, что наблюдается тенденция перехода от исправления ошибок к их превентивному предотвращению. Главный прикладной результат – перенос глубокого технико-экономического аудита

и нормативного контроля на этап предпроектных набросков. Это позволяет де-факто блокировать критические коллизии, которые в рамках традиционного «бумажного» или даже раннего BIM-подхода неизбежно «выплывали» бы только на стадии рабочей документации или, в худшем случае, непосредственно на стройплощадке.

2. Технологическая конвергенция смежных дисциплин. ИИ-инструментарий выступает единственным эффективным «общим языком» для архитекторов и инженеров. Нами зафиксирован реальный сдвиг в профессиональном мышлении студентов: архитекторы начинают мыслить категориями энергоэффективности и климатической нагрузки уже на стадии формирования объема, а строители интегрируют методы динамической логистики в расчеты производства. Происходит переход от узкоцехового обучения к работе с объектом как с целостной цифровой экосистемой.

3. Радикальная трансформация системы аттестации. В условиях тотальной доступности генеративного ИИ традиционные форматы контроля знаний (тесты, рефераты) утратили свою верификационную ценность. Единственным рабочим механизмом подтверждения компетенций сегодня является формат очного экспертного диалога и публичной защиты междисциплинарного кейса. Только в режиме «живой» аргументации принятых решений можно отличить реальный инженерный потенциал студента от использования «цифрового суррогата».

Заключение

Цифровая трансформация института «АрхСиТ» ТГТУ – это не замена программного обеспечения, а закономерная эволюция тамбовской инженерной школы. Институт не отказывается от классической базы, а вооружает её прогностическими возможностями искусственного интеллекта. Именно этот синтез фундаментальной традиции и «цифры» позволит готовить специалистов, способных не просто адаптироваться к рынку, а практически реализовывать стратегию технологического суверенитета страны в строительном секторе.

Список использованных источников

1. Семенов, В. А. Анализ опыта внедрения ИИ в образование: Россия и Китай / В. А. Семенов, М. Б. Резван, Л. Э. Петросян // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 6. – С. 118-122.

2. Каплун, Р. Н. Недостатки применения ИИ в образовании / Р. Н. Каплун // Научная деятельность в условиях цифровизации: теоретический и практический аспекты : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Калуга, 29 января 2025 года. – Стерлитамак: ООО «Агентство международных исследований», 2025. – С. 27-30.

3. Мазарчук, Д. Генеративный ИИ в образовании: проблемы и перспективы / Д. Мазарчук // Наука и инновации. – 2024. – № 9(259). – С. 24-30.

4. Монастырев, П. Об итогах XXX Международного смотра-конкурса лучших выпускных квалификационных работ по архитектуре, дизайну и искусству / П. Монастырев, Т. Ельчищева, А. Путинцева // Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2023. – № 3-4(112-113). – С. 55 – 65.

5. Монастырев, П. В. Вклад института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ в устойчивое развитие региона / П. В. Монастырев, О. В. Евдокимцев, В. А. Гавриков, Г. В. Зеленин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., посвященной
45-летию Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 13–14 июня 2024 года. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2024. – С. 44 – 74.

6. Чернядьева, О. А. Цифровой проектный институт, как инструмент реализации проектного обучения и практической подготовки в организациях высшего образования в области архитектуры и строительства / О. А. Чернядьева, О. В. Евдокимцев, П. В. Монастырев // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : тез. докл. VIII Междунар. симпозиума, Тамбов, 17 – 21 мая 2023 года. – Тамбов : ИП Чеснокова А. В., 2023. – С. 432.

7. Mishchenko E., Monastyryov P., Gavrikov V. Improving quality of education in the field of training specialists for transport industry // 7th SWS International Scientific Conference on Social Sciences ISCSS 2020. Conference Proceedings of selected articles. Sofia, Bulgaria, 2020. P. 429-436.

8. Мищенко, Е. С. Аспекты разработки образовательных программ в области BIM-технологий с учетом работодателей / Е. С. Мищенко, П. В. Монастырев, О. В. Евдокимцев // Устойчивое развитие

региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов, ТГТУ. 24–25 мая 2018 года. – С. 385 – 392.

9. Монастырев, П. В. Институт архитектуры, строительства и транспорта в проблемах устойчивого развития региона / П. В. Монастырев, О. В. Евдокимцев, В. А. Гавриков, Г. В. Зеленин // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – 2021. – С. 46 – 68.

10. Опережающая подготовка кадров для ЖКХ в Тамбовском государственном техническом университете: комплексные решения и перспективы / Н. В. Молоткова, П. В. Монастырев, В. А. Гавриков [и др.] // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 28–29 мая 2025 года. – Тамбов: ТГТУ, 2025. – С. 23-31.

11. Гавриков, В. А. К вопросу актуальности подготовки кадров в сфере логистических услуг на примере Тамбовской области / В. А. Гавриков // Современная наука: теория, методология, практика : Материалы III-ей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 13–14 апреля 2021 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2021. – С. 342-343. – EDN EGZDWZ.

12. Залукаева, Н. Ю. Информационные системы и технологии в транспортной логистике / Н. Ю. Залукаева, А. А. Гуськов, В. А. Гавриков. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2023. – EDN BQCMFQ.

УДК 004.42:378.147
67.01.45 Преподавание строительных дисциплин и архитектуры. Обучение, повышение квалификации

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ДОННАСА – ФИЛИАЛА НИУ МГСУ

Назим Ярослав Викторович,
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Специализированные информационные технологии и системы»
e-mail: ya.v.nazim@donnasa.ru

Чернышева Оксана Александровна,
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Специализированные информационные технологии и системы»
e-mail: o.a.chernisheva@donnasa.ru

Крысько Александра Анатольевна,
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры «Специализированные информационные технологии и системы»
e-mail: a.a.krysko@donnasa.ru

Чиркин Александр Владимирович,
«Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», ассистент кафедры «Специализированные информационные технологии и системы»
e-mail: a.v.chirkin@donnasa.ru

На кафедре специализированных информационных технологий и систем «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ), сформированной в 2014 году на базе кафедры «Инженерная и компьютерная графика», активно применяются современные информационные технологии при изучении как геометро-графических дисциплин, так и дисциплин по изучению технологий информационного моделирования (ТИМ). К информационным технологиям, применяющимся в учебном процессе кафедры, относятся различные аспекты организации обучения, включая работу со специализированными программными графическими пакетами – Платформа nanoCAD, КОМПАС-3D, программным обеспечением для ТИМ – nanoCAD BIM Строительство, RENGA, CADLib Модель и Архив и др., а также использование систем дистанционного обучения и цифровых образовательных ресурсов.

К примеру, для обучающихся направлений подготовки 07.03.01 «Архитектура», 07.03.02 «Реконструкция и реставрация архитектурного наследия», 07.03.03 «Дизайн архитектурной среды», 07.03.04 «Градостроительство» реализуется сквозная концепция по изучению геометро-графических дисциплин в архитектуре и градостроительстве, в рамках которой реализуются приемы проведения учебных занятий с применением дистанционных технологий, проведения мультимедийных лекций со сложными многослойными чертежами и различными способами взаимодействия с обучающимися в зависимости от изучаемых дисциплин и используемого различного специализированного программного обеспечения [4, 5].

При подготовке обучающихся по направлению 21.03.02 «Землеустройство и кадастр» используются информационные технологии в рамках дисциплин «Топографическое черчение» и «Компьютерная графика», в процессе изучения которых обучающиеся выполняют задания по созданию топографических планов теодолитной съемки, проекта землепользования и застройки, проекта планировки территории, векторизации топографических карт и планов, редактирования и объединения топографических планшетов, разработки чертежей на примере детального плана территории и др. [8].

При подготовке обучающихся по направлениям 08.03.01 «Строительство» и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» использование информационных технологий в учебном процессе направлено на формирование профессиональных компетенций будущих специалистов строительной отрасли, подготовку их к работе с современными цифровыми инструментами и повышение эффективности проектирования с использованием систем автоматизированного проектирования. Одной из базовых учебных дисциплин в высших учебных заведениях при подготовке инженерных кадров для строительства является дисциплина «Инженерная и компьютерная графика», для преподавания которой на протяжении десятилетий во многих вузах использовался графический пакет AutoCAD. Но в то же время необходимо учитывать, что для дальнейшего развития в вузах методик преподавания компьютерной графики сегодня актуальной задачей стал переход на импортозамещающие конкурентоспособные современные отечественные продукты. В частности, в ДОННАСА – филиале НИУ МГСУ с 2022 года в рамках изучения дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» рассматриваются средства точного черчения, вопросы создания инженерно-строительных чертежей машинным способом на примере Платформы nanoCAD с прямой поддержкой ГОСТ ЕСКД и стандартного формата DWG для хранения и обмена проектными и метаданными [1-3]. Необходимо отметить, что в 2024 году кафедра специализированных информационных технологий и систем участвовала в I-м Всероссийском конкурсе образовательных программ, организованном группой компаний «Нанософт». На конкурсе была представлена дисциплина «Инженерная и компьютерная графика» (модуль «Компьютерная графика»), обучение которой осуществляется с использованием Платформы nanoCAD. По итогам конкурса кафедра специализированных информационных технологий и систем ДОННАСА – филиала НИУ МГСУ была награждена дипломом за успешное внедрение отечественного программного обеспечения в образовательные программы.

При этом, в условиях цифровизации современной строительной отрасли, когда технологии информационного моделирования всё чаще используются в проектировании при разработке проектной и рабочей документации, а также в различных процессах на протяжении всего жизненного цикла объектов капитального строительства, не менее важным является внедрение современных отечественных программных продуктов на основе ТИМ. К примеру, в ДОННАСА – филиале НИУ МГСУ в рамках дисциплины «Информационные технологии» (модуль «Основы технологий информационного моделирования») изучаются способы создания цифровых информационных моделей (ЦИМ) объектов капитального строительства в программном продукте nanoCAD BIM Строительство [7, 9]. К примеру, обучающиеся разрабатывают на занятиях ЦИМ (рис. 1), формируют проектную документацию и спецификации на основе ЦИМ, а также изучают возможности экспорта данных из ЦИМ.

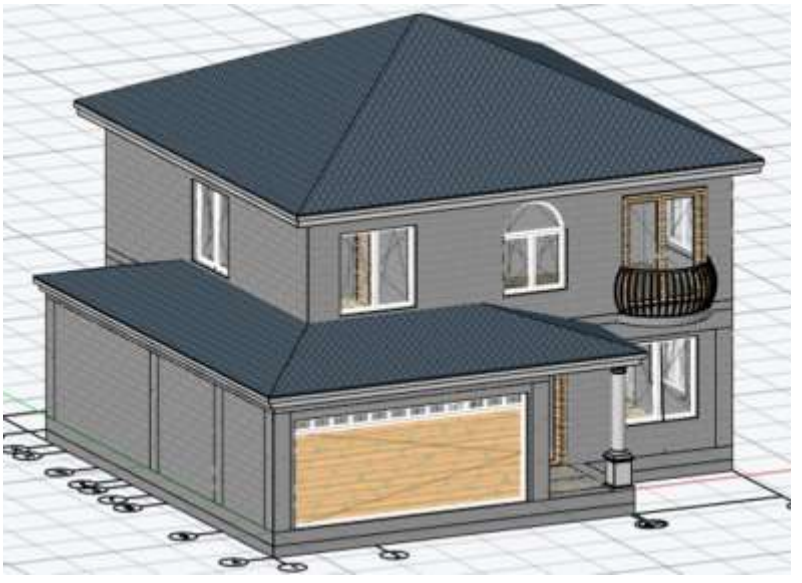


Рисунок 1 – Цифровая информационная модель здания, разработанная с применением nanoCAD BIM Строительство

Получение компетенций в области ТИМ позволит обучающимся в дальнейшем разрабатывать разделы проектной и рабочей документации с использованием информационного моделирования, осуществлять выпуск чертежей и спецификаций на базе цифровой информационной модели объекта капитального строительства, выполнять проверку и оценку технических решений на базе ЦИМ, применять средства вычислительной техники и специальные прикладные программы для проектирования.

Необходимо также отметить, что в ДОННАСА – филиале НИУ МГСУ успешно реализуется новая образовательная программа с углубленным изучением ТИМ, основанная на опыте реализации дисциплин в области информационного моделирования в строительстве [6]. В 2021 году Донбасская национальная академия строительства и архитектуры впервые анонсировала открытие нового профиля «Технологии информационного моделирования в строительстве» (ТИМС) и набор абитуриентов на бюджетные места в рамках направления подготовки 08.03.01 «Строительство». Профиль подготовки ТИМС – это профессиональная деятельность, связанная с применением технологий информационного моделирования зданий, выполнением и организационно-техническим сопровождением проектных работ, формированием информационных моделей зданий при решении профильных задач на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. Полученные знания в сфере ТИМ обеспечат высокую востребованность и конкурентоспособность выпускников на рынке труда, что обусловлено современными преобразованиями, направленными на цифровую трансформацию отрасли. Студенты профиля ТИМС помимо освоения базовой части программы направления подготовки 08.03.01 «Строительство» получают теоретические знания и практические навыки в вопросах:

– организации рабочей среды для разработки и использования структурных элементов информационной модели объектов капитального строительства;

– формирования, обработки и актуализации данных структурных элементов информационной модели при решении профильных задач на этапах жизненного цикла объектов капитального строительства;

– формирования технической документации ИМ;

– организации коллективной работы с ИМ;

– консультирования разработчиков и пользователей ИМ по технологиям BIM.

На кафедре специализированных информационных технологий и систем ДОННАСА – филиала НИУ МГСУ студенты профиля ТИМС изучают помимо базовых дисциплин (Информационные технологии, Инженерная и компьютерная графика) целый ряд профильных дисциплин, таких как:

– Технологии информационного моделирования в строительстве;

– Планирование и реализация процессов информационного моделирования;

– Основы проектной деятельности с использованием информационного моделирования в строительстве;

– Информационные технологии в строительном контроле и государственном техническом надзоре;

– Технологии информационного моделирования при обследовании и реконструкции зданий и сооружений;

– Информационные технологии в планировке городов;

– Информационное моделирование в проектировании и строительстве уникальных зданий и сооружений;

– Экспертиза цифровых информационных моделей и проектной документации;

– Информационные системы и базы данных в строительстве;

– Автоматизация технического документооборота.

В 2025 году на кафедре впервые состоялись защиты выпускных квалификационных работ бакалавров по профилю «Технологии информационного моделирования в строительстве». Это поистине знаменательное историческое событие в истории вуза, поскольку кафедра, которая осуществляла на протяжении 65 лет базовую фундаментальную подготовку в области инженерной и компьютерной графики, информационных технологий, стала выпускающей, причем по одному из самых востребованных сегодня направлений подготовки. Все выпускные квалификационные работы были выполнены студентами на актуальные темы для строительства в новых регионах России, что особенно важно для социально-экономического развития Донецкой и Луганской республик, Запорожской и Херсонской областей. Государственная экзаменационная комиссия высоко оценила полноту и качество проработки всех выпускных квалификационных работ, навыки студентов по применению современных BIM-инструментов и САПР-систем (платформа nanoCAD, nanoCAD Стройплощадка, nanoCAD Инженерный BIM, ЛИРА-САПР и др.), программных комплексов для составления, проверки и оформления сметной документации. Комиссия особо отметила комплексную выпускную квалификационную работу «Создание цифрового двойника здания учебного корпуса №1 ДОННАСА с пристройками и переходами». Целью данной работы была разработка с применением технологий информационного моделирования цифрового двойника учебного корпуса №1, включая пристройку блока поточных (лекционных) аудиторий, пристройку блока актового зала, пристройку здания спорткорпуса, для дальнейшего использования при управлении эксплуатацией и планировании капитальных и текущих ремонтов (рис. 2-3).

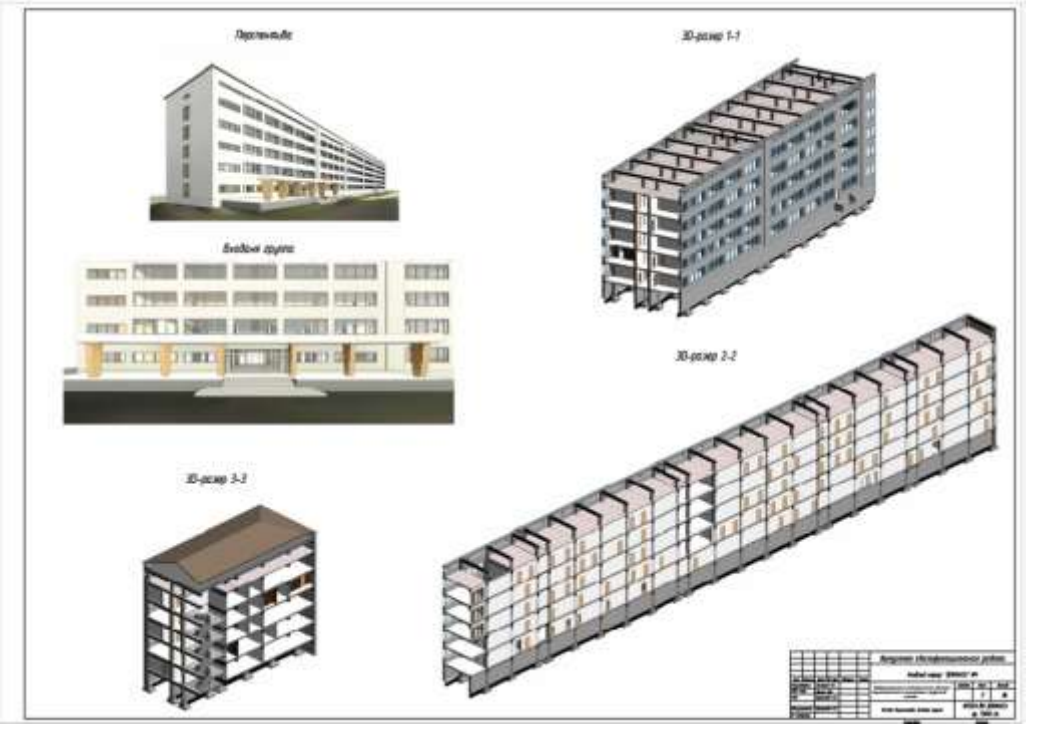


Рисунок 2 – Цифровая информационная модель учебного корпуса №1 ДОННАСА

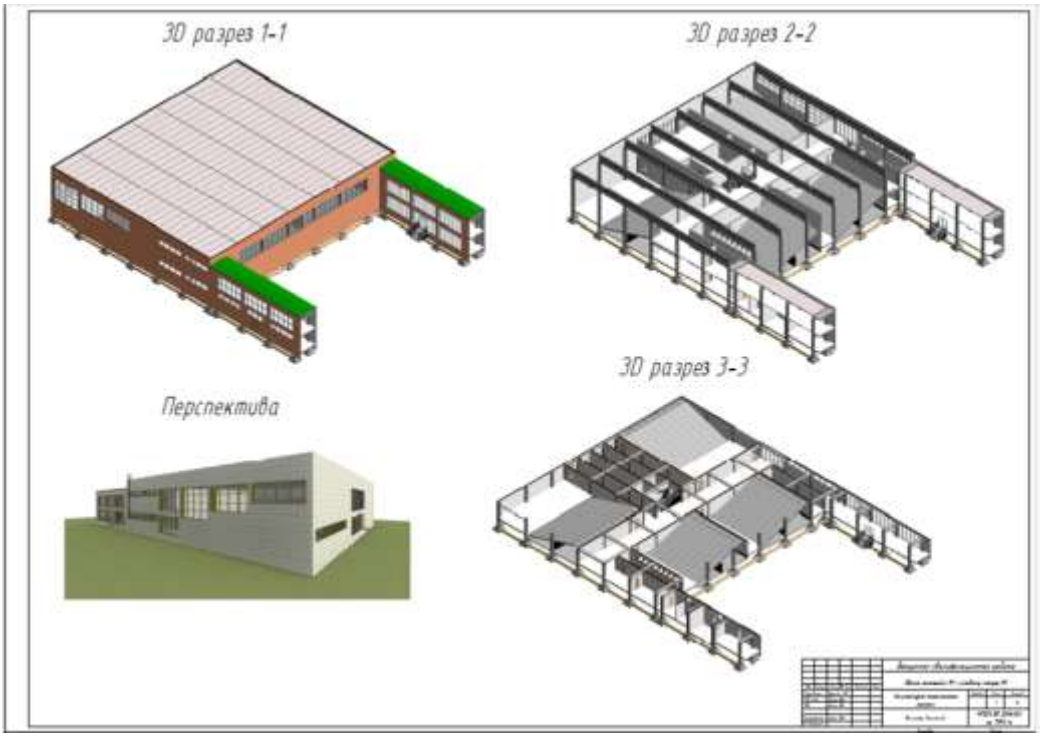


Рисунок 3 – Цифровая информационная модель пристройки 1 к учебному корпусу №1 ДОННАСА

Задачами данной работы являлось создание на основе обмерочных чертежей точной цифровой информационной модели объекта с использованием современных инструментов информационного моделирования, наполнение модели атрибутивной информацией о материалах и конструкциях, проверка ЦИМ на коллизии. Цифровой двойник создан с высокой детализацией, что позволяет детально анализировать все конструктивные элементы здания, точно определять потребность в материалах для текущего ремонта, оптимизировать графики обслуживания и моделировать варианты реконструкции. Результаты данной работы открывают новые перспективы для улучшения эксплуатации и реконструкции зданий с помощью современных цифровых технологий. Данная работа особенно актуальна, поскольку согласно стратегии развития отрасли строительства и сферы ЖКХ на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ № 3268-р, цифровой двойник объекта капитального строительства – это синхронизированная цифровая копия объекта капитального строительства, представляющая собой виртуальную модель, воспроизводящую форму оригинального объекта и все характерные для такого оригинала процессы, что позволяет однозначно идентифицировать все исторические изменения, выполненные для объекта-оригинала, а также прогнозировать жизненный цикл копируемого объекта. Выполненная студентами работа имеет реальную практическую значимость, направленную на цифровую трансформацию административных процессов инфраструктурного развития вуза, включая развитие системы управления жизненными циклами объектов капитального строительства, находящимися на балансе вуза и внедрение информационных технологий на всех этапах жизненного цикла объектов.

Новая образовательная программа, реализуемая кафедрой, отмечена на уровне Минстроя России. В 2024 году состоялась Торжественная церемония награждения призеров VIII Всероссийского конкурса с международным участием «ТИМ ЛИДЕРЫ 2023/24». По итогам конкурса Донбасская национальная академия строительства и архитектуры заняла второе место в номинации «Лучшая образовательная программа в области информационного моделирования» с проектом «Образовательная программа по направлению 08.03.01 Строительство, направленность (профиль): «Технологии информационного моделирования в строительстве» (ТИМС)».



Рисунок 4 – Вручение ДОННАСА диплома призера VIII Всероссийского конкурса с международным участием «ТИМ ЛИДЕРЫ 2023/24» в номинации «Лучшая образовательная программа в области информационного моделирования» в Минстрое России

С 2025 года на кафедре открылась также новая магистерская программа «Цифровые технологии в строительстве» по направлению 08.04.01 «Строительство». Программа ориентирована на подготовку высококвалифицированных специалистов, обладающих профессиональными компетенциями в области технологий информационного моделирования, технологий обработки данных 3D-сканирования (работа с облаками точек), аддитивных технологий в строительстве (прототипирование, 3D-печать), технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности в строительстве (VR, AR, MR), искусственного интеллекта в строительстве (ИИ), строительного контроля с использованием цифровых технологий, управления строительными проектами с использованием цифровых решений.

Также обучающиеся ДОННАСА – филиала НИУ МГСУ активно применяют свои знания, полученные на кафедре специализированных информационных технологий и систем в области ТИМ при участии в различных конкурсах. Для этого на кафедре созданы все условия с возможностью развития студентами своих навыков и участия в различных акселерационных программах. На кафедре действует студенческий кружок «Технологии информационного моделирования и цифровизация в строительстве», созданы учебная лаборатория «Технологии информационного моделирования, VR и компьютерной графики» и учебно-производственный центр «Цифровые технологии в строительстве», открытые для всех студентов, желающих освоить современные цифровые инструменты, приобрести практические навыки их применения, получить опыт участия в профессиональных конкурсах. Так, к примеру, в 2025 году под руководством наставников кафедры команда студентов ДОННАСА – филиала НИУ МГСУ вошла в число победителей конкурса «Студенческий стартап», реализуемого в рамках Федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» по инициативе Минобрнауки России, а в 2026 году команда академии стала победителем IV Всероссийского конкурса «Малоэтажный стандарт 2025/26. Цифровая трансформация» в номинации «Цифровые технологии для малоэтажного строительства».

Таким образом, в ДОННАСА – филиале НИУ МГСУ современные информационные технологии используются как для организации обучения и практической подготовки, так и для развития кружковой студенческой работы и проектной деятельности. Анализ применения информационных технологий в учебном процессе ДОННАСА – филиала НИУ МГСУ показывает, что академия целенаправленно интегрирует цифровые решения в образовательный процесс, обеспечивая подготовку специалистов, соответствующих современным требованиям строительной отрасли. Использование отечественного программного обеспечения и участие в профильных конкурсах подчёркивают ориентацию академии на актуальные отраслевые тренды и импортозамещение, а реализуемый в обучении практико-ориентированный подход обеспечивает выпускникам конкурентные преимущества на рынке труда.

Список использованных источников

1. Компьютерная графика nanoCAD. Ч. 1 : учебно-методическое пособие / Т. П. Малютина, Я. В. Назим, А. В. Чиркин. – Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2024. – 110 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/139428.html (дата обращения: 29.04.2026). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
2. Компьютерная графика nanoCAD. Ч. 2 : учебно-методическое пособие / А. И. Бумага, Я. В. Назим, И. В. Селезнёв, Д. Д. Полянский. – Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2024. – 111 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/139429.html (дата обращения: 29.04.2026). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
3. Компьютерная графика nanoCAD. Ч. 3 : учебно-методическое пособие / Я. В. Назим, Т. П. Малютина, А. А. Евдокимова, А. В. Чиркин. – Макеевка : Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2024. – 147 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: https://www.iprbookshop.ru/139430.html (дата обращения: 29.04.2026). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
4. Крысько, А. А. Использование дистанционных образовательных технологий при обучении студентов геометро-графическим дисциплинам (тезисы) // Материалы по результатам Междунар. научно-метод. конф. к 50-летию ГОУ ВПО «ДОННАСА»: «Теория и практика организации учебного процесса в образовательной организации высшего образования технического профиля», 10 декабря 2021 г. В 3-х т. Т. 2: Экономика, управление и информационные системы в строительстве и недвижимости. – Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. – С. 257-260.
5. Крысько, А.А. Опыт применения дистанционных образовательных технологий при изучении геометро-графических и ТИМ дисциплин / А. А. Крысько, О. С. Воронова // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры. Материалы VII Международной научно-практической конференции «Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры». – Санкт-Петербург, 2024. – С. 266-275.
6. Крысько, А. А. Опыт реализации программы обучения информационному моделированию в строительстве (тезисы) / А. А. Крысько, О. С. Воронова // Материалы по результатам Междунар. научно-метод. конф. к 50-летию ГОУ ВПО «ДОННАСА»: «Теория и практика организации учебного процесса в образовательной организации высшего образования технического профиля», 10 декабря 2021 г. В 3-х т. Т. 2: Экономика, управление и информационные системы в строительстве и недвижимости. – Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. – С. 260-262.
7. Чернышева, О. А. Информационные технологии в графическом пакете nanoCAD BIM Строительство : учебно-методическое пособие / О. А. Чернышева, А. В. Чиркин. – Макеевка: ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ, 2026. – 269 с.
8. Чернышева, О. А. Информационные технологии в планировке городов в графическом пакете nanoCAD : учебно-методическое пособие / О. А. Чернышева. – Макеевка : ФГБОУ ВО «ДОННАСА», 2025. – 156 с.
9. Чернышева, О.А. Применение информационных технологий при обучении студентов по направлению подготовки «Строительство» в учебном процессе ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ / О. А. Чернышева, А. В. Чиркин // Материалы Международной научно-технической интернет-конференции «Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов». – Тула : ТулГУ. – Текст : электронный. – URL: https://www.kadastr.org/conf/2025/pub/profobr/primenenie-informacionnyh-tehnologii-pri-obuchenii.htm (дата обращения: 29.04.2026).

УДК 378.1
74.04: Организация образования

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВОСПИТАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ СТУДЕНТОВ ТГТУ: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гавриков Владимир Александрович
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта»
e-mail: gammby-87@mail.ru

Зеленин Григорий Васильевич
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги»
e-mail: zgv68rus@mail.ru

Введение

В статье рассматриваются теоретико-методологические основания и перспективные направления трансформации воспитательного процесса в высшей инженерной школе в условиях Индустрии 4.0. На примере Института архитектуры, строительства и транспорта (АрхСиТ) ТГТУ обосновывается стратегия внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) не только как дидактического инструментария, но и как системного фактора формирования личностных и надпрофессиональных компетенций будущего специалиста. Авторами предлагается прогностическая модель научно-образовательной экосистемы, в которой ИИ выступает в роли когнитивного партнера субъектов образовательного процесса. Особое внимание уделено анализу потенциальных педагогических барьеров, этическим аспектам цифровизации и проектированию траекторий развития «цифровой культуры» студенчества. Представленные в работе положения формируют методологический фундамент для реализации дорожной карты цифровой трансформации вуза на период до 2026 года [1, 3].

Материалы и методы исследования.

Методологический фундамент работы базируется на конвергенции системного, деятельностного и аксиологического подходов. Это позволяет рассматривать цифровую трансформацию воспитательной среды не как совокупность технических инноваций, а как процесс качественного преобразования субъект-субъектных отношений в системе «преподаватель - ИИ-агент - студент».

В качестве эмпирической и проектной базы исследования определен комплекс инструментов, направленных на проектирование будущей образовательной экосистемы ТГТУ:

1. **Прогностический мониторинг и компаративный анализ:** планируется проведение глубокого анализа существующих отчетов (в частности, баз НИУ ВШЭ за 2024-2025 гг.) и международного опыта (MIT, Stanford, Tsinghua) для адаптации наиболее эффективных моделей «умного кампуса» к условиям регионального опорного вуза.
2. **Диагностический этап (Социологический инструментарий): п**редполагается проведение масштабного анкетирования (целевая выборка N=1200) среди студентов и ППС Института архитектуры, строительства и транспорта [2, 4]. Задачей данного этапа является выявление не только технической готовности, но и психологических барьеров, а также этических установок по отношению к генеративным моделям ИИ.
3. **Методика проектирования образовательных программ:** необходима комплексная ревизия учебных планов направлений «Архитектура», «Строительство», «Дизайн». Основной фокус должен быть смещен на поиск точек интеграции ИИ-инструментов, способствующих формированию гражданской ответственности и профессиональной этики.

Для достижения поставленных целей в рамках реализации дорожной карты (2024-2026 гг.) предусмотрено использование следующей системы методов:

- **Метод педагогического моделирования:** создание цифровых двойников воспитательных траекторий и адаптивных платформ, способных корректировать образовательный маршрут в зависимости от личностных особенностей студента.
- **Проектируемый педагогический эксперимент:** апробация элементов генеративного дизайна и BIM-проектирования с использованием ИИ-анализаторов в рамках междисциплинарных курсовых проектов. Данный метод рассматривается как перспективная форма воспитания коллективной ответственности за технически сложные решения [6, 10].
- **Методы этико-правовой дедукции:** разработка внутренних локальных нормативных актов и этических кодексов, регламентирующих использование ИИ. Это должно стать превентивной мерой, обеспечивающей академическую честность и защиту авторского права.
- **Эконометрическое прогнозирование:** расчет предполагаемого возврата инвестиций (ROI) и социальной эффективности от внедрения ИИ-инфраструктуры в долгосрочной перспективе.

Разработанный методологический аппарат призван обеспечить научную достоверность процесса интеграции интеллектуальных систем и минимизировать риски дегуманизации воспитательного процесса в инженерной школе.

Теоретический анализ глобальных трендов и формирование отечественной педагогической стратегии.

Осмысление современных векторов развития высшей инженерной школы диктует необходимость критического анализа зарубежных институциональных практик (прежде всего опыта MIT, Stanford University и Университета Цинхуа) не с позиции механического копирования, а с точки зрения извлечения методологических референсов для проектирования собственной образовательной среды. Мы полагаем, что технологическое лидерство указанных центров в области создания адаптивных симуляторов и цифровых двойников кампусов должно быть переосмыслено в контексте российской педагогической традиции. Наша стратегия предполагает переход от восприятия ИИ как «технического эксперта» или простого «верификатора кода» к созданию сложной системы «умного наставничества». В этой модели на первый план выходит не автоматизация процесса, а дидактическая инверсия: ИИ высвобождает интеллектуальный ресурс студента для поиска смысловых доминант и этического обоснования принимаемых инженерных решений.

Особую научную значимость в рамках проектируемой трансформации приобретает проблема девальвации традиционных критериев оценки, выражающаяся в так называемой «инфляции баллов». Рост числа максимальных оценок в западной академической среде (до 13%) мы интерпретируем как системный кризис классической контролирующей функции педагогики. Данный факт служит неоспоримым сигналом к неизбежной смене парадигмы аттестации в ТГТУ [13, 17]. Стратегическим приоритетом становится отказ от оценки конечного «продукта» - будь то текст реферата или архитектурный чертеж - в пользу комплексной верификации «процесса» его создания.

Необходима разработка методологии «защиты логики», где основным объектом педагогического контроля становится не результат, а способность субъекта аргументированно обосновать этапы взаимодействия с интеллектуальной системой. Только такая фундаментальная перестройка оценочного субстрата позволит нивелировать риски академического формализма и обеспечит реальную, а не декларативную академическую честность в условиях тотальной доступности генеративных алгоритмов.

Статистика внедрения ИИ в РФ на текущий момент демонстрирует выраженную региональную дифференциацию. В то время как Дальневосточный ФО активно интегрирует нейросети в научно-исследовательскую работу студентов (НИРС), вузы Центральной России сохраняют более консервативный подход. В этой связи, стратегическая цель ТГТУ - преодолеть инерцию административно-управленческого контура и реализовать модель «интеллектуального лидерства», где индекс внедрения инноваций будет коррелировать не с количеством закупленного софта, а с качеством сформированных компетенций будущего инженера.

Таким образом, глобальные тренды рассматриваются нами не как свершившаяся реальность, а как пространство возможностей и рисков, требующее превентивного педагогического реагирования и разработки оригинальной отечественной модели «воспитания цифрой».

Концептуальные направления трансформации воспитательного процесса в АрхСиТ ТГТУ.

Проектируемая нами модель интеграции интеллектуальных систем в жизнь института предполагает смену парадигмы: от контроля знаний к системному развитию личности. В рамках реализации стратегии выделяются четыре приоритетных вектора:

1. Проектирование системы интеллектуального наставничества и персонализации soft skills. Реализация стратегии интеллектуального наставничества предполагает принципиальный отказ от традиционного мониторинга успеваемости в пользу глубокой диагностической верификации конативных и поведенческих паттернов обучающегося через проектирование адаптивных аналитических систем. В данной антропоцентрической модели данные ИИ-агентов рассматриваются не как инструмент административного надзора, а как методологический базис для выстраивания персонализированного диалога «преподаватель - студент». Подобный подход позволяет превентивно идентифицировать дефициты субъектной вовлеченности и предлагает механизмы осознанной коррекции профессиональной траектории, трансформируя процесс обучения в акт глубокой саморефлексии и ценностного самоопределения будущего специалиста.

2. Формирование культуры коллективной ответственности в междисциплинарном проектировании.

Концепция формирования культуры коллективной ответственности базируется на интеграции интеллектуальных BIM-анализаторов в процесс междисциплинарного проектирования, где алгоритм наделяется статусом беспристрастного верификатора технологической состоятельности решений. В условиях мгновенного выявления нейросетью конструктивных коллизий и экономических несоответствий педагогическая задача смещается в сторону воспитания навыков аргументированного компромисса и коллективного поиска жизнеспособных форм. Это закладывает фундамент новой инженерной этики, в

которой техническая безупречность проекта, подтвержденная интеллектуальными системами [18, 20], осознается студенческим коллективом как персональная и групповая моральная ответственность за безопасность и социальную функциональность создаваемой среды.

3. Аксиологический подход к академической честности и верификации информации.

Доступность генеративных моделей ставит перед педагогической наукой задачу трансформации самой культуры работы с информацией. Наша стратегия предполагает переход от поиска плагиата к обучению навыкам критической верификации данных. Педагогическая задача будущего - научить студента понимать границы применимости инструмента и нести личную ответственность за каждое слово или расчет, произведенный машиной. В перспективе оценка будет выставляться не за «продукт», а за способность аргументированно защитить достоверность представленных результатов [7, 11].

4. Автоматизированные стандарты безопасности как элемент профессиональной культуры. Важным компонентом воспитательной среды должно стать внедрение систем видеоаналитики на учебных строительных площадках и в лабораториях. Мы рассматриваем это как метод формирования «автоматизированного стандарта поведения». Цель - не в наложении взысканий, а в создании среды, где соблюдение техники безопасности (ношение средств защиты, нахождение в безопасных зонах) становится естественным и неотъемлемым атрибутом профессиональной идентичности будущего инженера.

Таким образом, предлагаемые направления призваны трансформировать технологический прогресс в мощный инструмент педагогического воздействия, направленный на подготовку инженерной элиты, обладающей высоким уровнем этической и социальной ответственности.

Теоретико-методологические барьеры и риски цифровой трансформации: системный анализ.

Интеграция интеллектуальных систем в воспитательное пространство вуза сопряжена с комплексом вызовов, игнорирование которых может привести к девальвации образовательного процесса. В рамках разработки нашей стратегии мы выделяем четыре ключевые категории рисков, требующих превентивного научно-педагогического решения.

Психолого-педагогический аспект сопротивления инновациям.

Особого внимания заслуживает риск психологического отторжения технологий коллективом. С позиции гуманистической педагогики, мы подчеркиваем: **Искусственный интеллект не заменяет живого преподавателя.** Его функция должна эволюционировать от «транслятора информации» к роли ментора, модератора и верификатора высшего уровня. Лектор будущего - это не «говорящий учебник», а архитектор смыслов, ведущий сложный диалог с использованием интеллектуального инструментария.

Таблица 1

Матрица стратегических рисков и механизмов их нивелирования

Категория риска	**Сущность проблемы**	**Проектируемая стратегия нивелирования**
Этический	Угроза дегуманизации образовательного контакта; риск делегирования моральной ответственности алгоритмам («технократический детерминизм»).	Разработка локальных этических кодексов использования ИИ. Смещение акцента на очную защиту работ с приоритетом оценки логики суждений субъекта.
Кадровый	Психологическая неготовность части ППС; дефицит компетенций в области цифровой педагогики; опасения профессиональной стагнации.	Реализация циклов повышения квалификации (ПК) нового типа. Формирование института менторства, где молодые исследователи выступают проводниками цифровых технологий.
Методический	Утрата релевантности традиционными фондами оценочных средств (ФОС). Проблема дифференциации личного вклада студента и результата работы ИИ.	Радикальная переработка ФОС. Переход от оценки результата к оценке процесса (протоколирование промпт-инжиниринга, защита этапов проектирования).
Инфраструктурный	Дефицит мощностей для локальной обработки больших данных (Big Data) и сложных BIM-моделей; вопросы суверенитета данных.	Модернизация ИТ-архитектуры вуза; переход на гибридные облачные вычисления при строгом соблюдении протоколов безопасности.

Методологический барьер заключается в том, что текущая нормативная база зачастую не поспевает за технологическим рывком. Следовательно, стратегической задачей университета является создание опережающих внутренних стандартов, которые позволят превратить ИИ из «инструмента для списывания» в катализатор критического мышления.

Таким образом, глубокий анализ барьеров показывает, что успех трансформации зависит не столько от качества алгоритмов, сколько от готовности академического сообщества к переосмыслению своей роли в цифровом мире.

Прогностическая модель и целевые показатели эффективности внедрения ии.

Для верификации предлагаемой стратегии нами разработана система критериев, позволяющая оценить потенциальную эффективность перехода от классической образовательной модели к ИИ-ориентированной среде. В основу прогноза заложены данные предварительного моделирования учебного процесса на выпускающих кафедрах АрхСиТ.

Анализ данных показателей позволяет утверждать, что технологический скачок в воспитательной среде должен произойти прежде всего в области **оптимизации интеллектуальных усилий**. Предполагается, что внедрение генеративных алгоритмов в дисциплину «Архитектурное проектирование» позволит студентам проводить экспресс-анализ инсоляции и эргономики уже на стадии эскиза. Это не просто техническое достижение, а инструмент воспитания профессиональной честности: студент не может игнорировать объективные данные, полученные в реальном времени.

Важно подчеркнуть, что в рамках нашей стратегии ИИ выступает не как суррогатный автор, а как мощный инструмент оптимизации параметров, заданных человеком. Проектируемая визуализация результатов (например, анализ инсоляции жилых комплексов) призвана наглядно демонстрировать студенту последствия его проектных решений, воспитывая ответственное отношение к городской среде. Таким образом, количественные изменения неизбежно должны привести к качественному преобразованию профессионального сознания будущего специалиста.

Таблица 2

Сравнительные целевые показатели эффективности образовательной модели

Параметр оценки	**Базовый уровень (традиционный подход)**	**Целевой ориентир (ИИ-интеграция)**	**Прогнозируемый педагогический эффект**
Временные затраты на генерацию проектных решений (архитектура)	12-16 часов на один эскизный вариант.	1,5-2 часа на цикл из 10 вариативных моделей.	Высвобождение ресурса для глубокой творческой проработки и анализа смысловых доминант проекта.
Средний балл по теоретическим дисциплинам (прогноз)	3.92 балла.	4.28 балла (рост на 9.2%).	Рост вовлеченности при условии внедрения системы защиты логики решений для купирования «инфляции оценок».
Точность прочностных расчетов (минимизация ошибок)	Выявление ошибок на этапе рабочей документации.	Повышение предиктивной точности на 20% на ранних стадиях.	Формирование ответственности за техническую безопасность и экономию ресурсов [8, 9].
Уровень вовлеченности в НИРС (научная работа)	15% активных участников от общего числа студентов.	Не менее 35% активных участников.	Стимулирование интереса к междисциплинарным исследованиям и инноватике.
Качество освоения BIM-технологий	Длительный цикл рутинного ввода параметров.	Фокус на концептуальном моделировании и автоматизации рутины.	Ускорение формирования профессиональной идентичности инженера-проектировщика.

Стратегические векторы и перспективы развития воспитательной среды

Разработка единой интеллектуальной экосистемы ТГТУ рассматривается нами как приоритетная задача на среднесрочную перспективу. Ядром этой системы призван стать Центр цифровых компетенций, развитие которого планируется по следующим направлениям:

1. **Трансформация Центра в созидательный хаб:** переход от модели потребления готового программного обеспечения к модели генерации собственных решений. Студенты должны освоить

создание микросервисов и скриптов для автоматизации параметрического синтеза, что в педагогическом плане способствует воспитанию «инженерной смелости» [5, 12] и развитию предпринимательского мышления.

2. **Внедрение системы адресной сертификации (Micro-credentials):** планируется дополнение основного диплома набором сертификатов («Эксперт по AI-визуализации», «Аналитик транспортных потоков»). Это направление призвано обеспечить профессиональную социализацию и укрепление идентичности специалиста еще на этапе обучения [14, 19].
3. **Создание индустриальных полигонов апробации:** превращение университета в площадку для тестирования ИИ-решений реальных девелоперов и индустриальных партнеров. Такой подход позволит воспитывать в студентах прагматизм и понимание реальной производственной повестки региона.
4. **Проектирование модели «Умного кампуса»:** создание динамической цифровой копии вуза, способной адаптироваться под когнитивные профили обучающихся, предлагая персонализированные воспитательные и образовательные треки.

Заключение.

Цифровая трансформация АрхСиТ ТГТУ - это не просто технологическое обновление, а закономерная эволюция тамбовской инженерной школы. Интеграция ИИ в воспитательный процесс рассматривается нами как стратегическая инвестиция в капитализацию бренда университета и формирование новой инженерной культуры.

Резюмируя методологические основы статьи, можно констатировать: высшая школа находится в точке парадигмального сдвига. Главным прикладным результатом реализации предлагаемой стратегии должен стать перенос технико-экономического аудита и нормативного контроля на этап предпроектного поиска. Это позволит «блокировать» критические ошибки на уровне идеи, воспитывая культуру безупречного проектирования. Мы готовим специалистов, которые не конкурируют с искусственным интеллектом, а используют его как мультипликатор собственного творческого и аналитического потенциала [15, 16, 21].

Список использованных источников

1. Монастырев П.В., Евдокимцем О.В. Профильный институт нового типа, как основа инновационного развития университета / Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт». Тамбов. ТГТУ. 25-26 сентября 2014 года. – С.15-22.

2. Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Милованов А.В. Образовательные программы Института архитектуры, строительства и транспорта как элементы инновационного развития экономики Тамбовской области / Материалы 3-й международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт». Тамбов. ТГТУ. 27 июня 2016 года. – Изд-во Першина Р.В. С.8-14.

3. Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Гавриков В.А., Зеленин Г.В. Вклад института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ в устойчивое развитие региона // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы X-й Международной научно-практической конференции, посвящённой 45-летию Института архитектуры, строительства и транспорта тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 13–14 июня 2024 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2024. – С. 44-74.

4. Мамаев И.И., У Чэнь, Молоткова Н.В., Монастырев П.В. Компетентностный подход при подготовке в системе бакалавриата // Перспективы науки – 2015, №12 (75) – С.15-20

5. Мищенко Е. С., Монастырев П. В., Евдокимцев О. В. Образовательная программа проекта MARUEEB как элемент системы инновационного развития региона / Сборник материалов III Международная конференция «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур». Екатеринбург. УрФУ. 16-17 мая 2017 года. – С.463-472.

6. Мищенко Е.С., Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Струлев С.А. Учет позиции работодателя при проектировании образовательных программ в области BIM-технологий. Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 2. С. 106-115.

7. Мищенко Е.С., Монастырев П.В., Евдокимцев О.В. Аспекты разработки образовательных программ в области BIM-технологий с учетом работодателей / Материалы 5-й международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт». Тамбов. ТГТУ. 24-25 мая 2018 года. – Изд-во Першина Р.В. С.385-392.

8. Ауад М.С., Евдокимцев О.В., Монастырев П.В. Использование вычислительного комплекса SCAD OFFICE в образовательном процессе дисциплины «Металлические конструкции, включая сварку» // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 28-29 мая 2020г. / ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет".– Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.274-278.

9. Ауад М.С., Евдокимцев О.В., Монастырев П.В. Разработка и реализация виртуальных лабораторных работ по исследованию напряженно-деформированного состояния металлических конструкция в вычислительных комплексах. / Материалы 6-й международной научно-практической конференции, посвященной 40-летнему юбилею института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ «Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт». Тамбов. ТГТУ. 22-25 мая 2019 года. – Изд-во Першина Р.В. С.509-512.

10. Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Струлев С.А. Реализация цифровой трансформации образовательных программ в области информационного моделирования зданий, сооружений и линейных объектов // В сборнике: Современная наука: теория, методология, практика. Материалы IV-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2022. С.318-323.

11. Монастырев П.В., Умнова О.В., Струлев С.А. Строительное образование в период цифровизации экономики РФ // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 28-29 мая 2020г. / ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет".– Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.278-280.

12. Чернядьева О.А., Евдокимцев О.В., Монастырев П.В. Цифровой проектный институт, как инструмент реализации проектного обучения и практической подготовки в организациях высшего образования в области архитектуры и строительства // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений: Тезисы докладов VIII-го международного симпозиума, Тамбов, 17–21 мая 2023 года. – Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2023. – С. 432.

13. Мищенко Е.С., Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Старкова Т.В. Конкурсы в системе менеджмента качества подготовки студентов творческих или инженерных направлений. В сборнике: Современные проблемы в строительстве: постановка задач и пути их решения. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск, 2019. С. 39-45.

14. Старкова Т.В., Мищенко Е.С., Монастырев П.В. Повышение качества подготовки архитекторов за счет привлечения студентов к решению социально-экономических задач региона // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы 2-й всероссийской (национальной) научно-практической конференции, 28-29 мая 2020г. / ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет".– Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2020. – С.238-274.

15. Elena Mishchenko, Pavel Monastyrev, Oleg Evdokimtsev Design, Implementation and Quality Assessment of Educational Programs in Energy-Efficient Construction // 20th General Assembly of the International Experts. Florence (Italy), Fondazione Romualdo Del Bianco Istituto Internazionale Life Beyond Tourism, 2018, P.335-340.

16. E Mishchenko, P Monastyrev and O Evdokimtsev. Quality Improvement of Specialists Training for Energy-Efficient Construction. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 463 032046 https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/3/032046

17. Elena S. Mishchenko, Pavel V. Monastyrev, Oleg V. Evdokimtsev, Taisiya V. Starkova. Creative competitions as a tool for improving the quality of architects' training // 21st General Assembly of the International Experts and Symposium Heritage as a Builder of Peace. Florence (Italy), Fondazione Romualdo Del Bianco Istituto Internazionale Life Beyond Tourism, 2019, P.192-196.

18. E. Mishchenko, P. Monastyrev, O. Evdokimtsev. Design, implementation and quality assessment of educational programs in building information modeling. В сборнике: 5th International multidisciplinary scientific conference on social sciences and arts SGEM 2018. Conference proceedings. 2018. P. 159-166. https://sgemsocial.org/ssgemlib/spip.php?article7225&lang=en

19. Mishchenko, E., Monastyrev, P., Evdokimtsev, O.V., Starkova, T.V. Creative competitions as an element of the quality management system for architects' training // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. Volume 18, Issue 6.4, 2018, Pages 653-660.

20. Mishchenko E.S., Monastyrev P.V., Evdokimtsev O.V. Improving the Quality of Training in Building Information Modeling. ICL 2018; Kos Island; Greece; 25 September 2018 до 28 September 2018; Code 224239. Volume 916, 2020, Pages 453-459.

21. Mishchenko E., Monastyryov P., Gavrikov V. Improving quality of education in the field of training specialists for transport industry // 7th SWS International Scientific Conference on Social Sciences ISCSS 2020. Conference Proceedings of selected articles. Sofia, Bulgaria, 2020. Pages 429-436.

Научное электронное издание

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНА: АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛЬСТВО, ТРАНСПОРТ

Материалы
XII Международной научно-практической конференции

НАПРАВЛЕНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ БУДУЩЕГО»

Тамбов, 21–22 мая 2026 г.

Компьютерная верстка А. А. Мамонтова, С. А. Мамонтова
Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой

ISBN 978-5-8265-3052-8



Подписано к использованию 28.08.2026.
Тираж 100 шт. Заказ № 90

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, пом. 2, к. 14
Телефон: (4752) 63-81-08
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru