

В рамках проведения Фестиваля науки в Тамбовской области

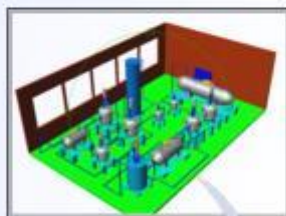


ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Выпуск 7

VIRTUAL SIMULATION, PROTOTYPING AND INDUSTRIAL DESIGN

Issue 7



Тамбов

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»

2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

В рамках проведения Фестиваля науки в Тамбовской области



Всероссийский
Фестиваль
науки

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН

Материалы VII Международной научно-практической конференции

г. Тамбов, 12 – 14 октября 2021 г.

Выпуск 7

VIRTUAL SIMULATION, PROTOTYPING AND INDUSTRIAL DESIGN

Issue 7

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2021

УДК 658.512.2
ББК Ж18я43
В52

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор М. Н. Краснянский (общая редакция);
д-р техн. наук, профессор В. А. Немтинов;
д-р техн. наук, профессор В. Г. Мокрозуб;
д-р техн. наук, профессор С. В. Карпушкин;
канд. техн. наук, доцент А. Б. Борисенко;
канд. техн. наук С. В. Карпов

В52 **Виртуальное** моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс] : материалы Международной научно-практической конференции / под общ. ред. М. Н. Краснянского ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ».

ISBN 978-5-8265-1836-6

Вып. 7. – 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 26,5 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2400-8

Опубликованы материалы пленарных и секционных докладов Международной научно-практической конференции, которая посвящена проблемам научно-технического и социально-экономического развития регионов. Целью конференции является обсуждение и публикация научных достижений ученых, а также определение возможных путей решения проблем разработки методов и алгоритмов создания и применения виртуальных моделей и прототипов объектов различного назначения и сложности.

В настоящее время виртуальное моделирование и прототипирование технических систем широко используется при решении задач промышленного дизайна, проектирования, модернизации, перепрофилирования производств различных отраслей промышленности. Еще одна популярная сфера применения виртуального моделирования и прототипирования – создание моделей культурно-исторических объектов в целях сохранения первоначального облика памятников архитектуры, в том числе утраченных, мемориальных и культурных сооружений.

Материалы конференции могут быть полезны преподавателям вузов и средних учебных заведений, научным работникам, руководителям и специалистам предприятий, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

Все научные работы, представленные на конференцию, прошли двойное рецензирование программным комитетом и редакционной коллегией.

УДК 658.512.2
ББК Ж18я43

Материалы статей предоставлены в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию.

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

ISBN 978-5-8265-2400-8 (вып. 7)
ISBN 978-5-8265-1836-6 (общ.)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2021

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Приходько Вячеслав Михайлович – председатель программного комитета, советник ректора ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», д-р техн. наук, проф., член-корреспондент РАН.

Краснянский Михаил Николаевич – сопредседатель программного комитета, ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ), д-р техн. наук, проф., профессор РАН.

Муромцев Дмитрий Юрьевич – проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

Мищенко Сергей Владимирович – почетный ректор ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

Позднеев Борис Михайлович – председатель правления Ассоциации «Цифровые инновации в машиностроении», заведующий кафедрой «Информационные системы» ФГБОУ ВО МГТУ «Станкин», д-р техн. наук, проф.

Монастырев Павел Владиславович – директор Института архитектуры, строительства и транспорта ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

Громов Юрий Юрьевич – директор Института автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

Тютюнник Вячеслав Михайлович – профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», генеральный директор Международного Информационного Нобелевского Центра, д-р техн. наук, проф.

Каррера Эразмо – профессор аэрокосмических конструкций и аэроупругости Туринского политехнического института, Турин (Италия), д-р техн. наук, проф.

Нобель Микаэл Свен – учредитель и глава Нобелевского благотворительного фонда, полный профессор университета Сока (Япония), д-р наук, проф. (Стокгольм, Швеция).

Горлач Сергей Петрович – зав. кафедрой «Параллельные и распределенные системы» Вестфальского университета имени Вильгельма, г. Мюнстер (Германия), д-р наук, проф.

Яегер Магнус – заместитель декана факультета экономического инжиниринга Восточнобаварского института Амберг-Вайден (Германия), проф.

Аверченков Владимир Иванович – зав. кафедрой «Компьютерные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

Остроух Андрей Владимирович – профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», д-р техн. наук, проф.

Сердюк Анатолий Иванович – директор Аэрокосмического института ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», д-р техн. наук, проф.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Мокрозуб Владимир Григорьевич – председатель, зав. кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» (КИСМ) ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

Немтинов Владимир Алексеевич – зам. председателя, профессор кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», д-р техн. наук, проф.

Борисенко Андрей Борисович – доцент кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», канд. техн. наук, доц.

Карпов Сергей Владимирович – доцент кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», канд. техн. наук.

Родина Антонина Александровна – старший преподаватель кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

Трюфилькин Сергей Валентинович – начальник сектора кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

СЕКРЕТАРИАТ КОНФЕРЕНЦИИ

Кшенникова Татьяна Михайловна – ведущий программист кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

Румянцева Елена Евгеньевна – ведущий программист кафедры КИСМ ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

СОДЕРЖАНИЕ

Секция Виртуальное моделирование, визуализация и прототипирование технических систем	10
<i>Лазарев С. И., Хромова Т. А., Родионов Д. А.</i> Программное обеспечение для расчета конструктивно-технологических параметров электробаромембранного аппарата трубчатого типа	11
<i>Карпушкин С.В., Кардакова Ю.А., Кузьмина М.Н.</i> Комплексный подход к проектированию нагревательных плит вулканизационных прессов	14
<i>Карпушкин С.В., Кузьмина М.Н., Кардакова Ю.А.</i> Математические модели параметров систем нагрева гидравлических прессов	19
<i>Карпушкин С.В., Шершуков Д.А.</i> Влияние внутренней пористой структуры на прочность нагруженных изделий оптимальной топологии	25
<i>Карпушкин С.В., Мжельский М.С.</i> Анализ растровых изображений распределения материала в результате топологической оптимизации	31
<i>Лычагина В.О.</i> 3D - моделирование в эстетической косметологии	37
<i>Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И.</i> Методология проектирования установок короткоцикловой безнагревной адсорбции для разделения и очистки газовых смесей	39
<i>Мартьянов Е.И., Карпушкин С.В.</i> Повышение эффективности механического перемешивания в вертикальных емкостных аппаратах	44
<i>Глебов А. О., Скоморохова А. И., Иванчей Ю. С.</i> Моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций с внутренней пористой структурой	49
<i>Аветисян А. Р., Шнякина Я. И., Проскураков С. В.</i> Программное обеспечение системы мониторинга параметров в кабинете МРТ	52
<i>Моисеева М.В., Фурсова А.В., Яковлев А.В.</i> Система контроля и управления доступом на основе дактилоскопии и одноразового пароля	55
<i>Немтинов В.А., Мамедов Р.И., Мамедова И.А.</i> Анализ проектных решений трассировки муниципальных тепловых сетей	59
<i>Шнякина Я. И., Аветисян А. Р., Дубровин В. В.</i> Разработка интеллектуальной системы для выявления отклонений в ЭКГ	62
<i>Рыжков А.В., Мачкарян А.В.</i> Моделирование почвообрабатывающего ножевого катка и САЕ анализ полуоси	65
<i>Архипов А.Е., Дедов Д. Л.</i> Анализ метрик оценки компонентов визуализации тренажерных комплексов	73
<i>Назарова А. О., Теселкин Д.Д., Обухов А.Д.</i> Разработка фитнес-платформы для виртуальной реальности в среде разработки UNITY	78
<i>Чеботов Н. А., Обухов А.Д., Иванов М.А.</i> Генерация ландшафта с применением алгоритма шума перлина в среде разработки UNITY	82
<i>Евдокимов А.С., Гриднев В.А.</i> Виртуальная модель депонирования ключей шифрования	88
<i>Рублёв А. А. Егоров С. Я.</i> Анализ систем охлаждения свайных дизель-молотов	

и разработка воздушной системы охлаждения штангового дизель-молота типа МСДШ	92
<i>Селиванова З.М., Скоморохов К.В., Боровкова Е.И.</i> Моделирование теплофизических измерений при контроле влажности строительных материалов в условиях неопределенности	97
<i>Воеводкин С.А., Дурнов А.А., Балашов А.А.</i> Виртуальная модель исследования процесса теплоотдачи при свободной конвекции от горизонтальной трубы	101
<i>Фидаров В.Х.</i> Структурный анализ копировальной системы токарного станка	104
<i>Ягодничен П.В.</i> Виртуальное моделирование, визуализация и прототипирование ростеров для обжарки кофе	110
<i>Василевский К.С., Дмитриевский Б.С.</i> Математическое моделирование установок – потребителей пара высокого давления нефтеперерабатывающих предприятий	115
<i>Дурнов А.А., Воеводкин С.А., Балашов А.А.</i> Виртуальная модель определения коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом трубы	119
Секция Виртуальное моделирование, визуализация и прототипирование социально значимых объектов	122
<i>Ельчищева Т.Ф., Матвеева И.В., Попова В.А.</i> 3D-Моделирование и визуализация интерьера здания дома культуры «ЗНАМЯ ТРУДА» в г. Тамбове	123
<i>Немтинов В.А., Борисенко А.Б., Трюфилькин С.В., Морозов В.В., Немтинова Ю.В.</i> Памятные места в тамбовском крае, связанные с жизнью семьи Асеевых	129
<i>Неверова С.Ю., Архипов А.Е., Обухов А.Д.</i> Создание трехмерной модели здания железнодорожного вокзала – исторического и архитектурного памятника города Тамбова	138
<i>Вехтева Н.А., Обухов А.Д., Волков А.А.</i> Особенности редактирования и печати 3D моделей в BLENDER	144
<i>Рачкова С.А., Мокрозуб В.Г.</i> Использование полихроматических гиперграфов для формального представления общеобразовательных учреждений и населенных пунктов	148
<i>Рачкова С.А., Мокрозуб В.Г.</i> Использование модифицированного коэффициента Джини для расчета доступности общеобразовательных организаций	151
<i>Свешиников А. Ю., Обухов А.Д.</i> Актуальность применения интерактивных виртуальных экскурсий в высших учебных заведениях	153
<i>Немтинов В.А., Борисенко А.Б., Трюфилькин С.В., Морозов В.В., Немтинов К.В.</i> Карта памятных мест в тамбовском крае, связанных с деятельностью товарищества «БРАТЯ НОБЕЛЬ»	156
Секция Виртуальное моделирование в геоинформационных системах управления территориями: создание и использование.....	163
<i>Ковалев Ю. А.</i> Распознавание пространственных данных с использованием масштабных и временных параметров на основе трехмерных баркодов	164

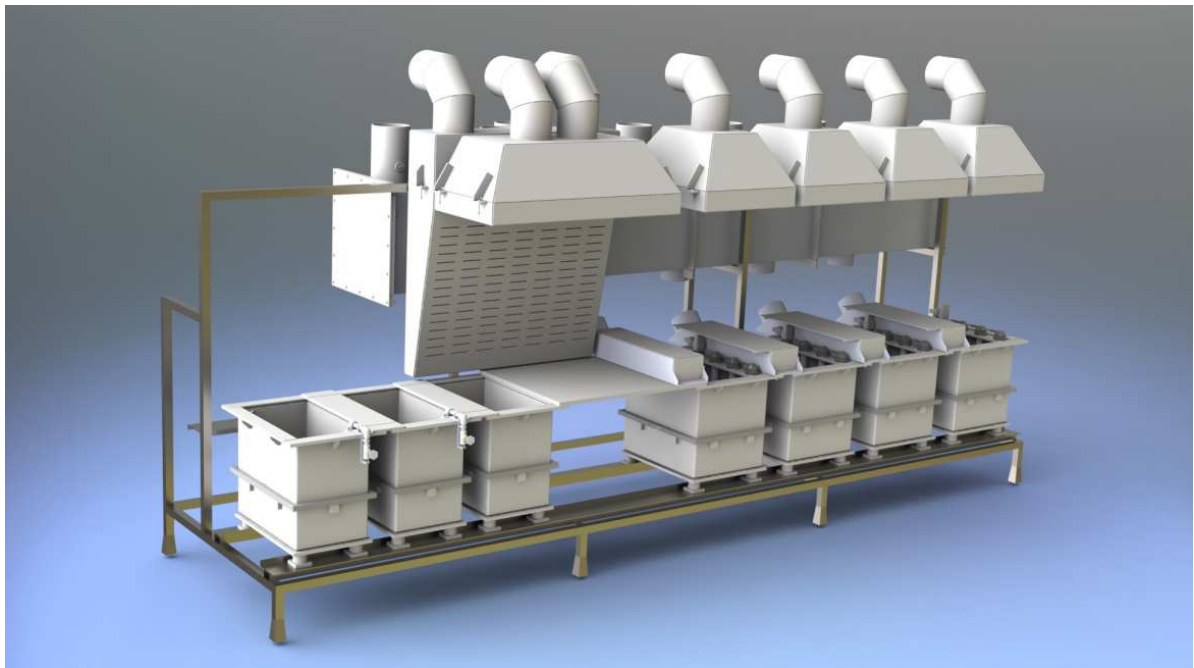
Секция Проектирование и применение компьютерных имитационных моделей, виртуальных тренажеров и систем машинного зрения	169
<i>Калистратов М.С., Ал-Магсусии Х.Ф.Х, Мокрозуб В.Г.</i> Автоматизация расчета фланцевых соединений кожухотрубчатых теплообменников	170
<i>Голубятников О.О., Акулинин Е.И., Коломоец А.А.</i> Подход к формированию математической модели процесса короткоцикловой безнагревной адсорбции для извлечения водорода	173
<i>Альруйшид М.Х.Х., Дмитриевский Б.С., Скворцов С.А., Терехова А.А.</i> Имитационное моделирование процесса адсорбции водорода на активированном угле	179
<i>Теселкин Д.Д., Назарова А. О., Обухов А.Д.</i> Нахождение объектов в реальном времени с помощью MEDIAPIPE OBJECTRON	182
<i>Вострикова В. В., Суркова Е. О., Обухов А.Д.</i> Сравнение алгоритмов отслеживания объектов с использованием OPENCV.....	186
<i>Майоров Н.И.</i> Перспективы применения технологий виртуальной реальности при подготовке специалистов в области машиностроения	190
<i>Патутин К.И., Обухов А.Д.</i> Структура системы бесконтактного управления на основе машинного обучения и компьютерного зрения	192
<i>Суркова Е. О., Вострикова В. В., Обухов А.Д.</i> Анализ и обработка изображений с помощью OPENCV.....	195
Секция Промышленный дизайн.....	199
<i>Альсаадави М. А.</i> Коррозия труб в абсорбционных системах охлаждения	200
<i>Глебов А. О., Жило А. А.</i> Анализ технологичности вулканизационной пресс-формы оптимальной топологии	204
<i>Зимарина Д. В.</i> Проверка радиационной защиты рентгеновского излучателя как составная часть методики проверки эксплуатационных параметров рентгенодиагностических аппаратов	208
<i>Кожарина Т.В., Карпов С.В.</i> Разработка алгоритма 3д-сканирования изношенных деталей для проведения конечно-элементного анализа	211
<i>Смирнов А.Д.</i> Требования безопасности при эксплуатации зарядных станций электротранспорта	217
<i>Пудовкин А.П.</i> Производство биотоплива на примере биоэтанола и биодизеля	219
<i>Роговцова Я.А.</i> ИНДУСТРИЯ 4.0. Основные особенности и базовые принципы	221
Секция Современные средства обработки информации	223
<i>Доненко И.Л., Доненко Л.Н., Лукьяненко В.А.</i> Разработка аппаратно-программного комплекса фрактального шифрования и передачи детерминированного сигнала в ВОЛС	224
<i>Середин К.А., Калистратов М.С., Дьяков М.Ю.</i> Автоматизированный выбор муфт соединения вала привода и вала мешалки емкостного аппарата	231
<i>Жирякова И.Г., Вшивков Ф.И., Мокрозуб В.Г.</i> модули системы автоматизированного планирования выпуска готовой продукции	234

<i>Салих Х.С., Рублев А.А., Горшенева Е.Б., Егоров С.Я.</i> Система мониторинга технического состояния транспортных средств и обслуживаемых объектов	237
<i>Каиштанов В.В., Косогор Я.И., Немтинов В.А.</i> Концепция масштабируемой транковой сети с использованием БПЛА и технологии роевого интеллекта	240
<i>Обухов А.Д.</i> Применение нейросетевых технологий при синтезе адаптивных информационных систем	244
<i>Немтинов В.А., Мамедова И.А., Мамедов Р.И.</i> Информационная модель поддержки принятия решений при эксплуатации тепловых сетей	250
<i>Вишивков Ф.И., Ал-Магсусии Х.Ф.Х., Жирякова И.Г.</i> Алгоритм расчета на прочность кожухотрубчатых теплообменников	256
<i>Волков А.А., Вехтева Н.А., Обухов А.Д.</i> От DIGISPARK KICKSTARTER до NVIDIA JETSON NANO: выбор аппаратной платформы при построении цифровых систем контроля и управления	259
<i>Балашов А.А.</i> Определение структурного перехода в полимере, с использованием метода разладки	265
<i>Иванов М. А., Обухов А.Д., Чеботов Н.А.</i> Алгоритмы решения задач классификации изображений с помощью нейронных сетей	269
<i>Дудина Е.А.</i> Перспективы использования аппаратов ударно-волновой терапии в медико-биологической практике	274
<i>Лазарев С. И., Хромова Т. А., Родионов Д. А.</i> Программное обеспечение для расчета конструктивно-технологических параметров электробаромембранного аппарата трубчатого типа	276
<i>Моисеева М.В., Попова Е.А.</i> Защита от утечки информации по акустическому каналу	279
<i>Жоголева Я.А., Яковлев А.В., Самодурова У.С.</i> Угрозы и уязвимости критическим информационным инфраструктурам	283
<i>Самодурова У.С., Жоголева Я.А., Яковлев А.В.</i> Моделирование протокола идентификации с нулевым разглашением тайны на основе сетей Петри	287
<i>Федорова Г.Н.</i> Внешние информационные потоки отдела технического контроля машиностроительного предприятия	291
<i>Дьяков М.Ю., Середин К.А.</i> Автоматизированный выбор мотор редуктора привода аппарата с перемешивающими устройствами	294
Секция Инженерная педагогика, моделирование процессов обучения и управления в образовании	297
<i>Мокрозуб В.Г., Молоткова Н.В., Мищенко Е.С., Меркушева К.А.</i> Образовательный контент в «Цифровом университете»	298
<i>Фролова Т. А.</i> Эффективный проектный менеджмент для медицинского оборудования	300
<i>Соловьев А. Н., Приходько В. М.</i> Социализация студентов в эпоху цифровизации ...	303

Секция Математическое моделирование молекулярных систем	310
<i>Дмитриев О.С., Барсуков А.А.</i> Нейросетевое моделирование кинетики отверждения полимерных композитов	311
<i>Дегтярев А.А., Ростова Д.П., Тришина А.В., Бакунин Н.С.</i> Тестирование методов теории функционала плотности для расчета спектра электронных переходов в азокрасителях на примере желтого светопрочного 2 «З»	313
<i>Дегтярев А.А., Бакунин Н.С., Ростова Д.П., Тришина А.В.</i> Влияние растворителя на электрофильно-нуклеофильные свойства дидецилдиметиламмоний хлорида	316
<i>Истомин А. М., Рухов А. В., Гончарова М.С.</i> Определение термодинамических параметров химических реакций, с использованием методов виртуального моделирования	320
<i>Лазарев Д. С., Котенев С. И., Абоносимов О.А.</i> Математическое моделирование процесса массопереноса электробаромембранного разделения технологических растворов	326

Секция I

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



УДК 66-9

Лазарев С. И., Хромова Т. А., Родионов Д. А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: tatyanka.xromova96@mail.ru

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО
АППАРАТА ТРУБЧАТОГО ТИПА**

Lazarev S. I., Khromova T. A., Rodionov D. A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: tatyanka.xromova96@mail.ru

**SOFTWARE FOR CALCULATION OF STRUCTURAL AND
TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A TUBULAR TYPE
ELECTROBAROMEMBRANE APPARATUS**

Аннотация: В работе представлена программа для расчета конструктивных параметров мембранного аппарата трубчатого типа. Произведен подсчет общего объема, объемов элементов и массы элементов электробаромембранного аппарата трубчатого типа, выполненного из различных видов материалов, выпускаемых промышленностью.

Ключевые слова: электробаромембранный аппарат, расчёт, параметр, проектирование, программный комплекс.

Abstract. The paper presents a program for calculating the design parameters of a tubular type membrane apparatus. The calculation of the total volume, volume of elements and mass of elements of a tubular type electrobaromembrane apparatus made of various types of materials manufactured by industry.

Keywords: electrobaromembrane apparatus, calculation, parameter, design, software package.

Очистка технологических растворов и сточных вод химических, машиностроительных и других производств является неотъемлемой частью производственных программ. При этом технологии, методы очистки и разделения растворов, в большинстве случаев используются традиционные, такие как отстаивание, фильтрование, центрифугирование и т.п.

В результате производственного процесса в технологических растворах, сточных водах предприятий оказывается достаточно большое содержание ценных (в том числе переносящих заряд) компонентов, которые могут быть использованы в производственном цикле повторно. Однако существует проблема выделения этих компонентов, так

как в стоках возможно присутствие их в большом количестве. Традиционные методы не позволяют этого сделать, а применение электрохимического метода требует разработки современных и перспективных конструкций аппаратов для разделения технологических растворов.

Одними из таких аппаратов являются электродиализаторы [1], однако основное их назначение заключается в концентрировании раствора. Существующие электрохимические мембранные аппараты [2] требуют постоянной модернизации, расчета конструктивно-технологических параметров, изучения кинетики процесса с целью увеличения производительности, качества разделения, улучшения гидродинамических характеристик.

В работе предложена методика расчета объема элементов и массы корпуса аппарата. Отличительной особенностью оптимизированного устройства является то, что штуцеры в аппарате расположены на резьбе, позволяющей упростить процедуру изготовления элементов корпуса (обечайки, фланца) [3].

Методика инженерного расчета сводится к расчету объемов основных элементов конструкции аппарата, следующий этап общего расчета массы аппарата, общего объема и массы аппарата можно рассчитать по формулам (1-3).

Объем элементов аппарата из капролона определяется по формуле:

$$V_{a1} = n_{\text{фл}} V_{\text{фл}} + V_{\text{к}} + n_{\text{тр.р}} V_{\text{тр.р}} + n_{\text{шт}} V_{\text{шт}} + n_{\text{шт}}^{\text{п}} V_{\text{шт}}^{\text{п}}, \quad (1)$$

Учитывая, что для баромембранного разделения (без наложения разницы электрических потенциалов на мембранную систему) прижимная решетка и дренажная сетка могут быть выполнены из капролона, формула (1) примет вид:

$$V_{a1} = n_{\text{фл}} V_{\text{фл}} + V_{\text{к}} + n_{\text{тр.р}} V_{\text{тр.р}} + n_{\text{шт}} V_{\text{шт}} + n_{\text{шт}}^{\text{п}} V_{\text{шт}}^{\text{п}} + n_{\text{пр.р}} V_{\text{пр.р}} + n_{\text{др.с}} V_{\text{др.с}}, \quad (2)$$

Общая масса аппарата включает в себя массу элементов из капролона, фторопласта, титана:

$$m = \sum_{i=1}^3 m_{a_i}, \quad (3)$$

где m_{a_i} - масса элементов аппарата из капролона, фторопласта, титана соответственно, кг.

На основании методики инженерного расчета можно оптимизировать геометрические размеры и соответственно массу, из-за чего можно снизить стоимость производства аппаратов.

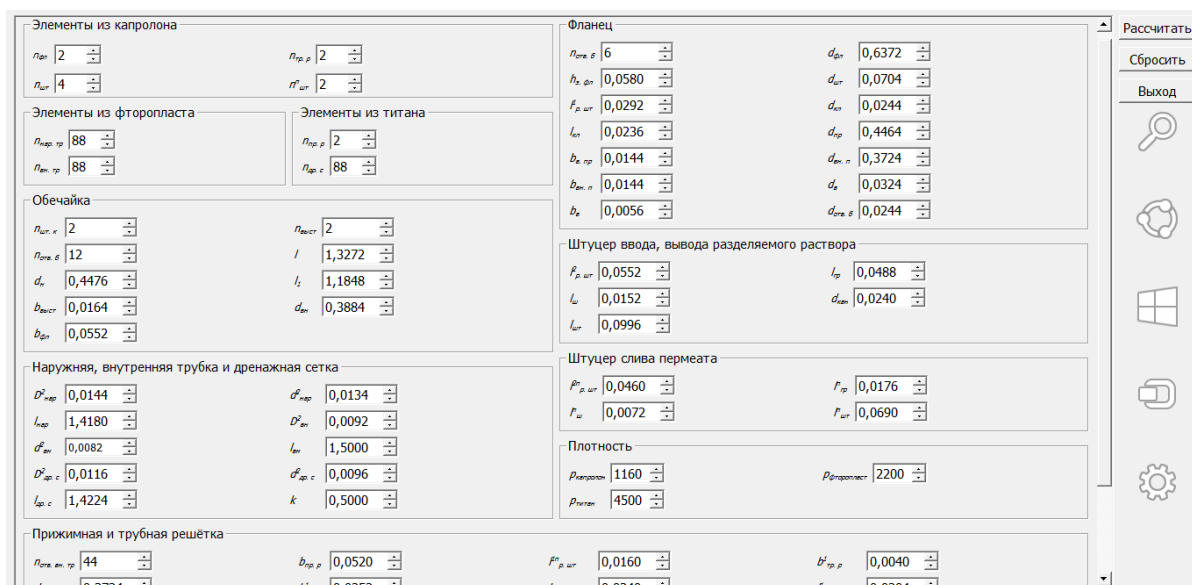


Рис.1. Расчетные величины

Разработанная программа позволяет рассчитать массу и объем основных элементов электробаромембранного аппарата, преимуществом данной программы является возможность адекватно переносить расчетные величины на аналогичные процессы при разработке технологических схем разделения, очистки и концентрирования промышленных растворов и стоков с применением мембран. На основании программы можно увеличить площадь разделения растворов, увеличить производительность и качество разделения растворов, снизить материалоемкость на единицу объема аппарата.

исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-38-90036.

The reported study was funded by RFBR according to the research project №20-38-90036.

Список использованных источников

1. Пат. 2690339 Российская Федерация, МПК В01D61/42. Электродиализатор с охлаждением разделяемого раствора / Лазарев С. И., Ковалев С. В., Шестаков К. В. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ» – № 2018137145, заявл. 22.10.2018; опубл. 31.05.2019, Бюл. №16.
2. Пат. 2712599 Российская Федерация, МПК В01D61/18, В01D63/06, В01D63/08. Электробаромембранный аппарат комбинированного типа / Лазарев С. И., Хорохорина И. В., Ковалев С. В. и др.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2019121998, заявл. 09.07.2019; опубл. 29.01.2020, Бюл. №4.
3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021612828, 25.02.2021. Программный комплекс для расчета конструктивно-технологических характеристик электробаромембранного аппарата трубчатого типа / Лазарев С.И., Коновалов Д.Н., Ковалева О.А., Хромова Т.А., Луа П., Ковалев С.В.; заявка № 2020668065 от 25.12.2020.

УДК 62-932.4

Карпушкин С.В.¹, Кардакова Ю.А.², Кузьмина М.Н.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: chikunyaschka@mail.ru

³e-mail: marina568226@icloud.com

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЛИТ ВУЛКАНИЗАЦИОННЫХ ПРЕССОВ

Karpushkin S.V.¹, Kardakova U.A.², Kuzmina M.N.³

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: chikunyaschka@mail.ru

³e-mail: marina568226@icloud.com

COMPLEX DESIGN APPROACH VULCANIZATION PRESS HEATING PLATES

Аннотация. На основе анализа существующих требований к нагревательным плитам вулканизационных прессов для изготовления резинотехнических изделий рассмотрен комплексный подход к проектированию плит, основанный на результатах моделирования процесса совместного нагрева плит, пресс-форм и вулканизируемых изделий. Основные положения и особенности этого подхода рассмотрены на примере проектирования нагревательной плиты для производства резиновых прокладок.

Ключевые слова: проектирование, нагревательная плита, моделирование, пресс-форма, вулканизационный пресс.

Abstract. On the basis of the existing requirements analysis for the heating plates of vulcanizing presses for the manufacture of industrial rubber goods, a complex approach to the design of plates, based on the results of modeling the joint heating process of plates, molds and vulcanized products, is proposed. The main provisions and features of this approach are considered on the example of designing a heating plate for the production of rubber gaskets.

Keywords: design, heating plate, modeling, mold, vulcanizing press.

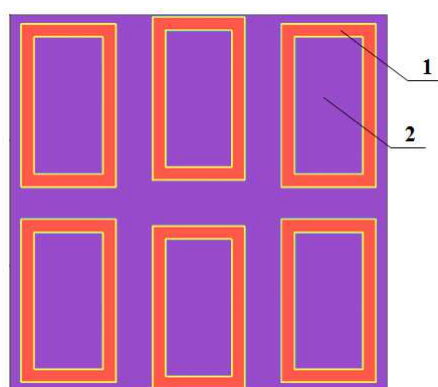
Качество продукции, выпускаемой с применением вулканизационных гидравлических прессов, определяется степенью соответствия температурного поля в объеме изделия требованиям технологического регламента, прежде всего, степенью неравномерности. В публикациях [1,2] рассмотрены два подхода к проектированию нагревательных плит вулканизационных гидравлических прессов: интегральный, предусматривающий получение на всей рабочей поверхности плиты температурного поля заданного

профиля, и дифференциальный, ориентированный на формирование температурного поля рабочей поверхности плиты с учётом геометрии и свойств материалов изготавливаемых резинотехнических изделий (РТИ). Необходимо отметить, что при использовании обоих подходов следует уделять внимание заданию допустимой неравномерности температурного поля рабочей поверхности плиты (интегральный подход) или ее участков, в границах которых размещаются пресс-формы с РТИ (дифференциальный подход). Обычно она задается как максимально допустимое отклонение температуры точек рабочей поверхности от заданной.

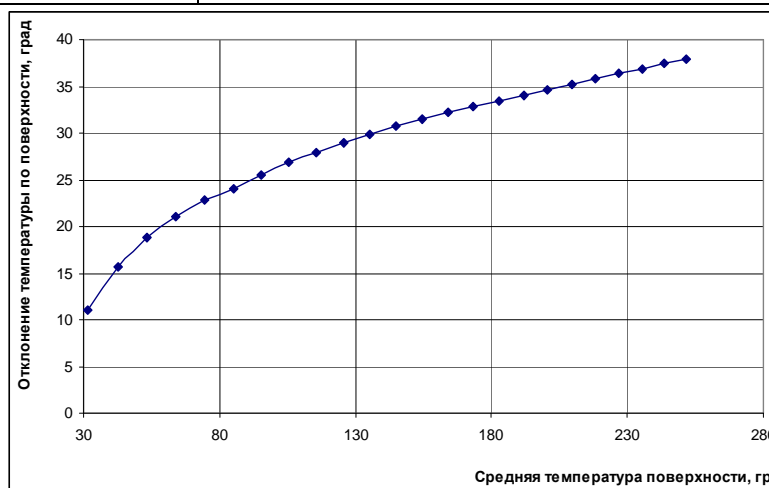
Известно, что каучуки, используемые в промышленности, имеют различные температуры вулканизации [3]. Например, для каучуков, представленных в таблице 1, диапазон колебаний оптимальной температуры вулканизации составляет 37°C.

Таблица 1. Оптимальные температуры вулканизации промышленных каучуков

Каучук	Оптимальная температура вулканизации, °С
Натуральный каучук (НК)	143
Изопреновый каучук (СКИ)	151
Хлоропреновый каучук (наирит)	151
Бутилкаучук	170
Бутадиен-стирольные каучуки (СКС-30А, СКС-30АМ-33, СКС-30-1)	180
Бутадиен-нитрильные каучуки (СКН-18, СКН-26, СКН-40)	180
Натрий-бутадиеновый каучук (СКБ)	180
Пипериленовый каучук	180
Метилвинилпиридиновый каучук (СК-МВП-15)	180



а (1 – индуктор; 2 – плита)



б

Рис. 1. Конфигурация индукционной нагревательной плиты 600x600 мм (а) и зависимость отклонения температуры ее поверхности от средней температуры ПЛИТЫ

С другой стороны, при проектировании вулканизационного оборудования не учитывается зависимость градиента температуры от её абсолютного значения. Для иллюстрации важности этого обстоятельства проведены численные расчёты температурного поля нагревательной плиты, конструкция которой представлена на рис. 1а. Получена зависимость отклонения температуры по поверхности от средней температуры плиты (рис. 1б).

Как видно из рис. 1б, с ростом средней температуры плиты отклонение увеличивается. Для значений температур плиты 150-250°C, практически значимых для проведения процесса вулканизации, зависимость носит линейный характер. В этом диапазоне температур отклонение увеличивается с 30,7°C до 37,9°C, т.е. на 19%.

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что при составлении технического задания на проектирование нагревательных плит для производства изделий из каучуков, вулканизуемых при повышенных температурах, необходимо задавать большую допустимую неравномерность температур по сравнению с каучуками, вулканизуемыми при пониженных температурах. Это позволит избежать неоправданного усложнения конструкции плиты в тех случаях, когда степень неравномерности получаемого температурного поля уже соответствует техническому заданию.

Комплексный подход к проектированию нагревательных плит вулканизационных прессов основан на применении нестационарного теплового конечно-элементного анализа системы «плита–пресс-форма–изделие». Целью является получение заданного температурного поля в объёме изделия за счёт изменения размеров, мощности и размещения индукционных нагревателей в объёме плит.

Моделирование нагрева пресс-формы для изготовления прокладок на промышленной плите (см. рис. 1а) реализовано согласно методике, предложенной в [4].

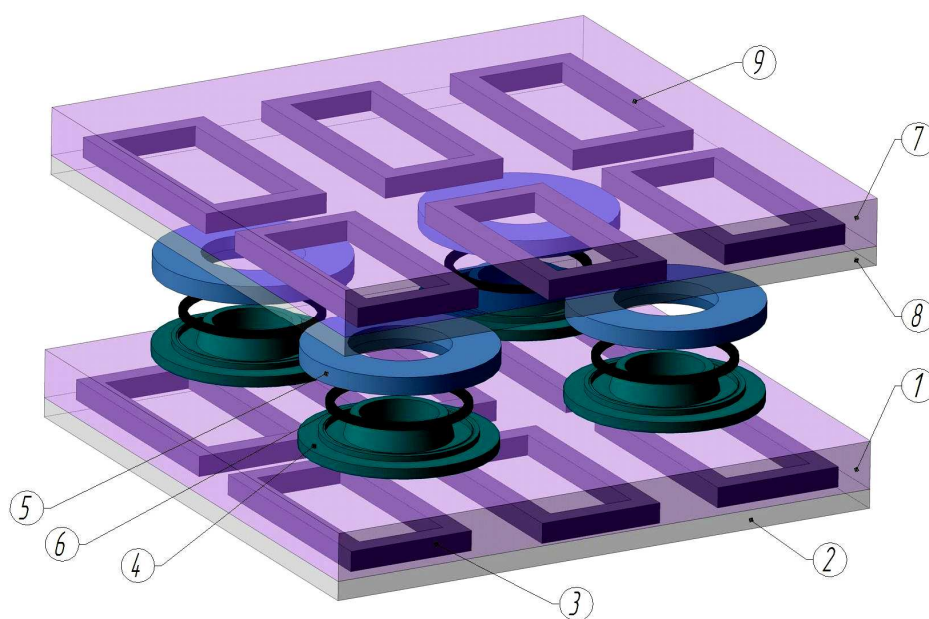


Рис. 2. Геометрическая модель системы

На рис. 2 представлена трёхмерная геометрическая модель системы, состоящей из следующих элементов. Между нижней (основание 1, крышка 2, индукторы 3) и верхней (основание 7, крышка 8, индукторы 9) плитами располагаются пресс-формы (матрица 4, пуансон 5) для производства резиновых прокладок 6. Габариты пресс-формы позволяют разместить на рабочей поверхности плиты 600x600 мм одновременно четыре пресс-формы.

Конечно-элементный анализ системы, изображённой на рис. 2, реализован в среде COMSOL Multiphysics [5]. Предусмотренное технологическим регламентом среднее значение объёмных температур резиновых изделий, равное 147°C, достигается за 2500 с. На рис. 3а представлено полученное в результате объёмное температурное поле системы, на рис. 3б – температурное поле резиновой прокладки (поскольку рассматриваемая система симметрична, показана только одна прокладка).

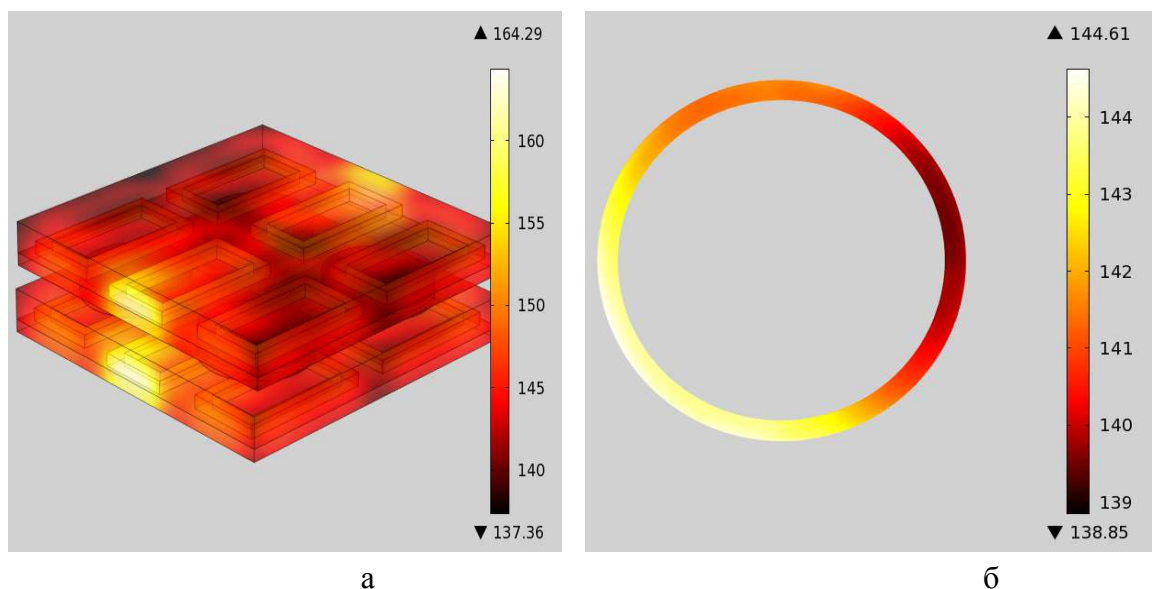


Рис. 3. Температурное поле системы (а) и продольного сечения прокладки (б), °С

Максимальный перепад температур по объёму моделируемой системы составил 26,9°C. Наибольшая температура наблюдается в местах расположения двух центральных более мощных индукторов, наименьшая – в объёме изделий и на внешних боковых и торцевых поверхностях плит. Как видно из рис. 4, максимальный перепад температур по объёму изделия составляет 5,8°C. Максимальная температура 144,6°C соответствует части изделия, расположенной рядом с центральными мощными индукторами, минимальная 138,9°C – противоположной части.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что степень неравномерности температурных полей в изделиях удовлетворительна, т.е. в оптимизации системы обогрева пресс-форм нет необходимости.

С другой стороны, в работе [1] сделан вывод, что с точки зрения интегрального подхода плита, представленная на рисунке 1а, непригодна для эксплуатации. Таким образом, комплексный метод, более полно учитывающий свойства системы «плита–

пресс-форма–изделие», позволил дать более обоснованную оценку пригодности этой плиты для обработки конкретных изделий.

Следует отметить, что информация об изменении температуры в процессе вулканизации имеет исключительное значение в производстве крупногабаритных шин и РТИ [6]. По этой причине применение комплексного подхода к проектированию оборудования для производства таких изделий приобретает особое значение.

Таким образом, в каждом конкретном случае промышленного использования существующих и проектирования новых индукционных нагревательных плит следует принимать во внимание специальные требования к формируемому температурному полю в объеме нагреваемого изделия, целесообразность использования существующих технологий и ассортимент выпускаемой на прессе продукции. Использование комплексного подхода необходимо при изготовлении РТИ со сложной геометрией в массивных пресс-формах, а также в особых случаях, когда необходима информация об изменении температуры изделия в процессе вулканизации.

Список использованных источников

1. Карпушкин, С.В. Интегральный подход к проектированию нагревательных плит вулканизационных прессов / С.В. Карпушкин, Ю.А. Кардакова // Инновационные технологии в транспортном и химическом машиностроении: материалы XII Международной научно-технической конференции Ассоциации технологов-машиностроителей. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – С. 160-165.
2. Кардакова, Ю.А. Дифференциальный подход к проектированию нагревательных плит вулканизационных прессов / Ю.А. Кардакова // XIV ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: материалы Всерос. научн. конф. – Вологда: ВоГУ, 2020. – Т. 1: Технические и естественные науки. – С. 186-191.
3. Блох, Г.А. Органические ускорители вулканизации каучуков / Г.А. Блох. – Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1972. – 559 с.
4. Карпушкин, С.В. Моделирование процесса нагрева пресс-формы для производства резинотехнических изделий на индукционном вулканизационном прессе / С.В. Карпушкин, С.В. Карпов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – №2/2. – С. 35-41.
5. Multiphysics Modeling and Simulation Software – COMSOL [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.comsol.com/> – Загл. с экрана.
6. Машины и аппараты резинового производства / Б.И. Андрашников, Л.М. Антонов, Д.М. Барсков и др.; под ред. Д.М. Барскова. – М.: Химия, 1975. – 599 с.

УДК 62-932.4

Карпушкин С.В.¹, Кузьмина М.Н.², Кардакова Ю.А.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: marina568226@icloud.com

³e-mail: chikunyaschka@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ НАГРЕВА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ

Karpushkin S.V.¹, Kuzmina M.N.², Kardakova U.A.³

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: marina568226@icloud.com

³e-mail: chikunyaschka@mail.ru

MATHEMATICAL MODELS OF HEATING SYSTEMS' PARAMETERS FOR HYDRAULIC PRESSES

Аннотация. Представлены математические модели конструкций и режима функционирования элементов систем нагрева гидравлических прессов. Их применение дает информацию, необходимую для обоснованного выбора способа нагрева и количества нагревателей, оптимизации размеров, мощности и местоположения нагревателей в объеме плиты, локации обрабатываемых изделий (пресс-форм с изделиями) на рабочих поверхностях плит, выбора количества и материалов плит теплоизоляции.

Ключевые слова: математические модели, гидравлические прессы, конструкции и режим функционирования элементов систем нагрева.

Abstract. Mathematical models of heating systems elements for hydraulic presses design and operating modes are presented. Their application provides the information, necessary for a reasonable choice of the heating method and heaters number, optimization of the heaters size, power and location in the volume of the plate, the processed products (molds with products) location on the working surfaces of the plates, the choice of the thermal insulation plates number and materials.

Keywords: mathematical models, hydraulic presses, designs and operation mode of heating systems elements.

В работе [1] представлена формулировка задачи определения параметров систем нагрева гидравлических прессов и предложена ее декомпозиция на три взаимосвязанные задачи: задачу А1 выбора способа нагрева и определения конструкции нагревательной плиты; задачу А2 размещения обрабатываемых изделий на рабочей поверхности нагревательной плиты с учетом способа регулирования ее температуры; задачу А3

выбора материалов и определения значений толщин плит теплоизоляции. В работе [2] каждая из этих задач представлена в виде совокупности математической (ММ) и информационной (ИМ) моделей, преобразующих исходные данные в результаты решения, обосновано представление любой из ИМ в виде кортежа, включающего перечень исходных данных (X), результатов решения (Y), области допустимых значений данных (DX) и результатов (DY), а также дополнительную информацию (IZ), необходимую для решения задачи. Подробно рассмотрена ИМ задачи А1.

В данной работе представлены математические модели задач А1-А3 (ММ1-ММ3). Детально рассмотрим модель выбора способа нагрева и конструкции нагревательной плиты пресса (ММ1), включающую следующие соотношения.

1. Уравнение теплопередачи в нагревательной плите – нестационарное уравнение теплопроводности с внутренними источниками тепла [3]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T + \frac{q}{c\rho}, \quad (1)$$

где $T = T(x, y, z, \tau)$ – температура в точке объема плиты с координатами (x, y, z) в момент времени τ ; $q = q(x, y, z, T_{av})$ – удельное тепловыделение в этой точке;

$$T_{av} = T_{av}(\tau) = \frac{1}{h \cdot s \cdot l} \cdot \int_0^h \int_0^s \int_0^l T(x, y, z, \tau) dx dy dz - \text{средняя температура плиты в момент}$$

времени τ ;

$a = \lambda / (c\rho)$ – коэффициент температуропроводности материала плиты; λ, c, ρ – коэффициент его теплопроводности, теплоемкость и плотность; h, s, l – высота, ширина и длина плиты.

Начальное условие для решения уравнения (1)

$$T(x, y, z, 0) = T_0, \quad (2)$$

где T_0 – температура окружающей среды.

Теплоотдача от внешних неизолированных поверхностей нагревательной плиты описывается граничными условиями третьего рода:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{S_r} = \alpha_r (T_r - T_0), \quad r = 1, \dots, 6, \quad (3)$$

где S_r – площадь r -й поверхности плиты: рабочая поверхность, крышка, торцы; α_r – коэффициент теплоотдачи от r -й поверхности плиты, см. [4]; T_r – средняя температура r -й поверхности плиты в течение периода ее разогрева $[0, \tau_z]$.

2. Зависимости интенсивности внутренних тепловыделений от координат, вида нагревателей и средней температуры плиты:

- для плиты парового нагрева при допущении о равномерности и идентичности тепловыделения во всем объеме каждого парового канала

$$q(x, y, z, T_{av}) = \begin{cases} 4 \cdot \alpha_n \cdot (t_n - T_{av}) \cdot dk_i^{-1}, & \text{если } (x, y, z) \in vk_i, i = 1, \dots, n_n, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

где α_n – коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара в горизонтальных цилиндрических каналах [4], t_n – температура конденсации пара, v_k – объем i -го канала в плите, n_n – число нагревателей в плите;

- для плиты омического нагрева при допущении о равномерном выделении тепла в объеме паза, где размещен нагреватель,

$$q(x, y, z) = \begin{cases} Q_i/v_i, & \text{если } (x, y, z) \in v_i, i = 1, \dots, n_n, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (5)$$

где Q_i – номинальная мощность i -го нагревателя; v_i – объем, в котором выделяется эта мощность.

- для плиты индукционного нагрева при допущении, что тепловыделение каждого индуктора осуществляется равномерно в объеме паза под него:

$$q(x, y, z) = \begin{cases} q_{av0i}, & \text{если } (x, y, z) \in v_i, i = 1, \dots, n_n, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

где q_{av0i} – средняя удельная мощность i -го индуктора за период $[0, \tau_z]$, см. [5].

3. Условие обеспечения необходимой суммарной мощности нагревателей с учетом требуемого темпа нагрева плиты и условий стабилизации ее температуры:

$$\sum_{i=1}^{n_n} Q_i \geq \frac{l \cdot s \cdot h \cdot \rho}{\tau_z} \int_{T_0}^{T_z} c(T) dT + \sum_{r=1}^6 \alpha_r S_r (T_r - T_0), \quad (7)$$

где T_z – заданная рабочая температура плиты.

4. Ограничения:

- на геометрические размеры нагревателей и положение их проекций на рабочую поверхность плиты

$$\mathbf{X}_{ni} \in [\mathbf{X}_{n*}, \mathbf{X}_n^*], i = 1, \dots, n_n, \quad (8)$$

где \mathbf{X}_{ni} – вектор параметров i -го нагревателя, например, для прямоугольного индуктора $\mathbf{X}_{ni} = (l_{ni}, s_{ni}, xc_{ni}, yc_{ni})$ – длина и ширина проекции i -го индуктора на рабочую поверхность плиты, координаты проекции его центра на рабочую поверхность относительно левого нижнего угла.

Заметим, что форма пазов для размещения спиральных омических нагревателей, в принципе, может быть произвольной, и одним из компонентов вектора \mathbf{X}_{ni} является радиус изгиба его оси (Rc_i), значение которого лимитируется ограничением: соседние витки спирали не должны соприкасаться, см. рис. 1.

Минимально допустимый радиус изгиба оси паза Rc_{min} определяется из условия

$$h_0 > 2dc,$$

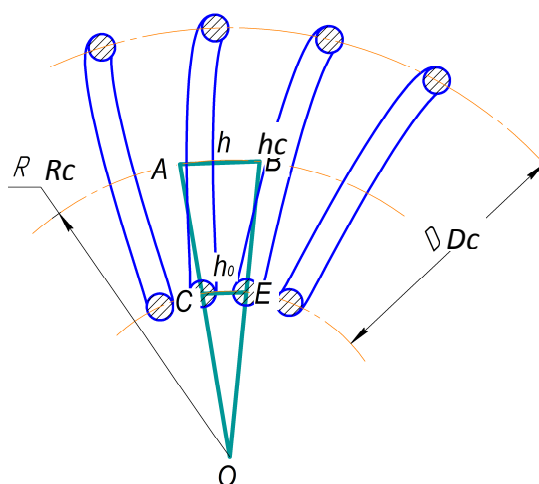


Рис. 1. Разрез фрагмента изогнутой спирали

где $h_0 = hc(1 - Dc/2Rc)$ – расстояние между витками спирали по внутреннему радиусу, см. рис. 1, dc – диаметр провода нагревателя, hc – шаг намотки прямой спирали, Dc – диаметр ее намотки по средней линии, Rc – радиус ее изгиба по осевой линии, т.е.

$$Rc_{\min} > 0.5 \cdot hc \cdot Dc \cdot (hc - 2dc)^{-1}; \quad (9)$$

- на суммарную мощность нагревателей

$$\sum_{i=1}^{n_n} Q_{ni} \leq Q_{\max}; \quad (10)$$

- на размещение пазов под нагреватели в объеме плиты

$$V_i \cap V_j = \emptyset, i, j = 1, \dots, n_n, i \neq j, \quad (11)$$

где V_i – объем паза i -го нагревателя и окрестности, включающей минимально допустимые расстояния между пазами соседних нагревателей, пазом нагревателя и границами рабочей поверхности плиты;

- на перепад температур по рабочей поверхности плиты

$$\max_{\substack{x \in [\Delta p, l - \Delta p], \\ y \in [\Delta p, s - \Delta p], \\ \tau \in [\tau_n, \tau_c]}} \{T(x, y, u, \tau)\} - T_z \leq \Delta T_{\text{п}}, \quad T_z = \min_{\substack{x \in [\Delta p, l - \Delta p], \\ y \in [\Delta p, s - \Delta p], \\ \tau \in [\tau_n, \tau_c]}} \{T(x, y, u, \tau)\} \leq \Delta T_{\text{п}}, \quad (12)$$

где Δp – расстояние от края плиты до границы ее рабочей поверхности, τ_c – продолжительность периода стабилизации температурных полей элементов системы нагрева, $T(x, y, z, \tau)$ – значение температуры в точке (x, y, z) объема плиты в момент времени τ , $u = 0$, если рабочей является нижняя поверхность плиты и $u = h$ (высоте плиты), если верхняя, $\Delta T_{\text{п}}$ – допустимое значение перепада температур по рабочей поверхности плиты;

- на длину провода нагревателя:
индукционного

$$nv_i \leq 4 \cdot b_i \cdot g_i \cdot \chi_i \cdot \pi^{-1} \cdot di_i^{-2}, i = 1, \dots, n_n, \quad (13)$$

где nv_i – число витков провода в индукторе, b_i, g_i – ширина и глубина паза соответственно, di_i – диаметр провода с учетом изоляции, χ_i – максимально допустимый коэффициент заполнения паза проводом;

спирального омического

$$0.25 \cdot \gamma_i \cdot U_i^2 \cdot \pi \cdot di_i^2 \cdot P_i^{-1} \leq L_i \leq Lp_i \cdot ti_i^{-1} \cdot \sqrt{(\pi D_i)^2 + ti_i^2}, i = 1, \dots, n_n, \quad (14)$$

где L_i – длина провода i -го нагревателя, D_i, ti_i – средний диаметр и шаг навивки провода, Lp_i – длина паза для i -го нагревателя, $di_i = \sqrt[3]{4Q_i^2 / (\gamma_i U_i^2 W_i \pi^2)}$ – необходимый диаметр его провода, см. [6], γ_i – удельная электрическая проводимость материала нагревателя, U_i – подаваемое на него напряжение, W_i – его поверхностная мощность, см. [6].

Решением модели *ММ1* являются температурные поля плит прессов в произвольный момент времени периодов нагрева и стабилизации температуры плиты. Анализ полей температур рабочих поверхностей плит дает информацию, необходимую для обоснованного выбора способа нагрева и количества нагревателей, оптимизации размеров, мощности и местоположения нагревателей в объеме плиты.

Математическая модель *ММ2* размещения изделий на рабочей поверхности плиты с учетом способа регулирования ее температуры включает нестационарные уравнения теплопроводности для нагревательных плит, см. (1), и аналогичные уравнения распространения тепла в пресс-формах и изделиях с граничными условиями 4-го и 3-го рода, см. (3), а также соотношения, характеризующие способ стабилизации температуры плит в течение всех периодов обработки изделий. Математическая модель *ММ3* определения температур поверхностей плит теплоизоляции разработана на основе допущения, что тепловое воздействие пресса на нагревательную и теплоизоляционные плиты можно смоделировать граничным условием 3-го рода с помощью фиктивного коэффициента теплоотдачи к твердому телу. Это позволяет оперативно оценивать влияние тепловых процессов в системе нагрева пресса на температуры элементов его конструкции.

Таким образом, разработаны математические модели конструкций и режима функционирования элементов систем нагрева гидравлических прессов, которые, в отличие от существующих, включают уравнения для определения удельных тепловыделений при паровом, омическом и индукционном нагреве плит, минимально допустимого радиуса изгиба спирального омического нагревателя, средних температур поверхностей плит теплоизоляции.

Список использованных источников

1. Карпушкин, С.В. Задача определения параметров систем нагрева гидравлических прессов и ее декомпозиция / С.В. Карпушкин, М.Н. Кузьмина // Инновационные технологии в транспортном и химическом машиностроении: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации технологов-машиностроителей. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – С. 172-176.
2. Кузьмина, М.Н. Информационные модели параметров систем нагрева гидравлических прессов / М.Н. Кузьмина // XIV ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых: материалы Всеросс. научн. конф. – Вологда: ВоГУ, 2020. – Т. 1: Технические и естественные науки. – С. 85-89.
3. Кошляков, Н.С. Уравнения в частных производных математической физики / Н.С. Кошляков, Э.Б. Глинер, М.М. Смирнов. – М.: Высшая школа, 1970. – 712 с.
4. Романков, П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк, М.И. Курочкина. – СПб: Химия, 1998. – 496 с.
5. Глебов, А.О. Методика определения мощности индукционных нагревательных устройств / А.О. Глебов, А.В. Стрижков // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-27: сб. трудов XXVII междунар. науч. конф. – Тамбов: Тамбовск. гос. техн. ун-т, 2014. – Т. 3. – С. 9-11.
6. Малыгин, Е.Н. Тепловой расчет плит гидравлических прессов с омическими нагревателями / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, А.О. Глебов, С.В. Карпов // Вестник машиностроения. – 2016. – № 6. – С. 14-18.

УДК 62-253.001

Карпушкин С.В.¹, Шершуков Д.А.²

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: d.shershykov@icloud.ru

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА ПРОЧНОСТЬ НАГРУЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ

Karpushkin S.V.¹, Shershukov D.A.²

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: d.shershykov@icloud.ru

THE INTERNAL POROUS STRUCTURE'S INFLUENCE ON THE STRENGTH OF OPTIMAL TOPOLOGIES LOADED PRODUCTS

Аннотация. На примере задачи минимизации податливости шарнирно закреплённой двумерной балки исследуется влияние пористой внутренней макроструктуры изделий, полученной с применением современных аддитивных технологий, на их прочность и возможность оптимизации массы при воздействии изгибающих нагрузок. Реализованы стандартные трёхточечные испытания на изгиб топологически оптимальной конструкции балки, изготовленной из ABS-пластика по технологии послойного наплавления материала при разных значениях внутренней пористости. Показано, что при прочих равных условиях эти образцы обладают большей пластичностью и способны воспринимать большие нагрузки по сравнению с монолитными изделиями одинаковой массы.

Ключевые слова: аддитивные технологии, топологическая оптимизация, прочность, пористость, изгиб.

Abstract. Using the example of minimizing problem the malleability of a pivotally fixed two-dimensional beam, the influence of the porous internal macrostructure of products obtained using modern additive technologies on their strength and the possibility of optimizing the mass under the influence of bending loads is investigated. Standard three-point bending tests of a topologically optimal beam design made of ABS plastic using the technology of layer-by-layer deposition of the material at different values of internal porosity have been implemented. It is shown that, all other things being equal, these samples have greater plasticity and are able to perceive large loads compared to monolithic products of the same mass.

Keywords: additive technologies, topological optimization, strength, porosity, bending.

К преимуществам аддитивных технологий (АТ), предусматривающих создание готового изделия путём послойного добавления материала, относятся сокращение времени на изготовление, уменьшение припусков на обработку, возможность изготовления

сложных деталей, полученных с помощью методов топологической оптимизации (ТО). В данной работе для изготовления опытных образцов использовалась технология FDM (Fused Deposition Modeling – моделирование методом послойного наплавления экструдируемого материала), настольные 3D-принтеры, а в качестве расходного материала – нить из ABS-пластика.

Технология FDM предусматривает возможность изготовления изделий с различным внутренним заполнением, в том числе регулярной структуры, которая может быть задана на этапе подготовки задания для 3D-принтера. Тип внутренней структуры и процент заполнения сильно влияют как на процесс изготовления, так и на механические свойства получаемого изделия [1]. В общем случае больший процент заполнения обеспечивает большую прочность при увеличении расхода материала и продолжительности изготовления. Применение пористых материалов актуально в условиях стремления к снижению массы изделий, например, при создании новых конструкций беспилотных летательных аппаратов [2]. Пористая структура также имеет хорошую динамическую эффективность, меньшие требования к точности изготовления, стойкость к коррозии, высокое термосопротивление и меньшую стоимость по сравнению с традиционными материалами [3].

В качестве объекта исследования использовались результаты ТО известной тестовой задачи Мессершмитта-Бёлькова-Блома (МВВ) об изгибе балки [4] (см. рис. 1, а). Длина балки $L = 300$ мм, высота $H = 50$ мм, толщина $t = 2$ мм. Модуль упругости материала балки $E = 7.1 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0.33$. Перемещение балки ограничено по вертикали в крайних нижних точках. Внешняя сила P величиной 40 Н действует точно на верхнюю грань посередине балки.

Поскольку геометрия балки и схема нагрузок симметричны, анализ проводился для модели половины балки (см. рис. 1, б). В плоскости симметрии перемещение по нормали отсутствует, т.е. $u_x = 0$. Закрепление крайней нижней точки на подвижной опоре соответствует граничному условию $u_y = 0$.

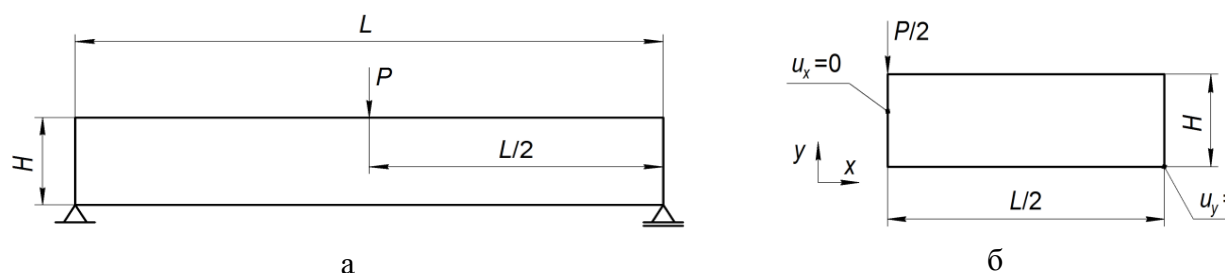


Рис. 1. Схема нагрузок МВВ-балки

На этапе ТО необходимо найти наилучшее распределение материала в заданной области с точки зрения жёсткости конструкции. Достижение максимальной жёсткости эквивалентно минимизации податливости системы [5]. В случае действия точечных нагрузок податливость определяется согласно выражению

$$C = \sum_{i=1}^n \mathbf{P}^{(i)} \cdot \mathbf{u}^{(i)} \quad (1)$$

где $\mathbf{P}^{(i)}$ – вектор внешней силы, действующий в i -й точке, H ; $\mathbf{u}^{(i)}$ – вектор перемещения i -й точки, m ; n – количество точек, к которым приложены внешние силы.

В рассматриваемой задаче внешняя сила действует в одной точке, вызывая ее перемещение по оси y , следовательно, критерий оптимальности задачи ТО упрощается до следующего вида:

$$C = \frac{P}{2} u_y(0, H) \quad (2)$$

В классической постановке задачи ТО используют ограничение на массу материала, которое в данном примере принято равным 25% от исходного значения.

Задача ТО поставлена как двумерная. Дискретизация расчётной области осуществлялась с использованием сетки конечных элементов. Для решения задачи использован SIMP-метод [6], величина штрафного коэффициента $p = 3$. В качестве метода оптимизации использован метод глобально сходящихся подвижных асимптот ММА [7]. Результат решения задачи ТО – поле относительной плотности в диапазоне значений от 0 до 1, представлено на рис. 2.

Для найденной геометрии проведено исследование влияния пористости материала на прочность изделия. Фактическая масса балки составила 29,7% от начальной величины.

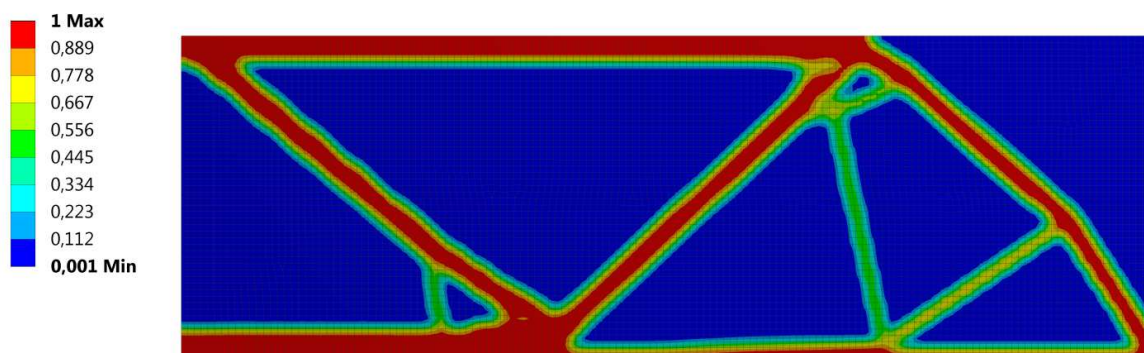


Рис. 2. Поле относительной плотности

Образцы для проведения исследований изготавливали на 3D-принтере Hercules с использованием ABS-пластика BestFilament. С использованием метода отображения, разработанного авторами [8], результаты ТО балки были импортированы в САПР Компас-3D, где сформирована полная твердотельная трёхмерная модель методом зеркального отражения (рис. 3). Из-за ограничений области печати принтера (20x20 см) модель была пропорционально смасштабирована по осям x и y с коэффициентом 0,8 (длина 240 мм, высота 40 мм). Толщина модели увеличена до 10 мм для удобства проведения дальнейших испытаний. Отметим, что данные преобразования не влияют на топологию изделия, полученную на этапе решения задачи ТО.

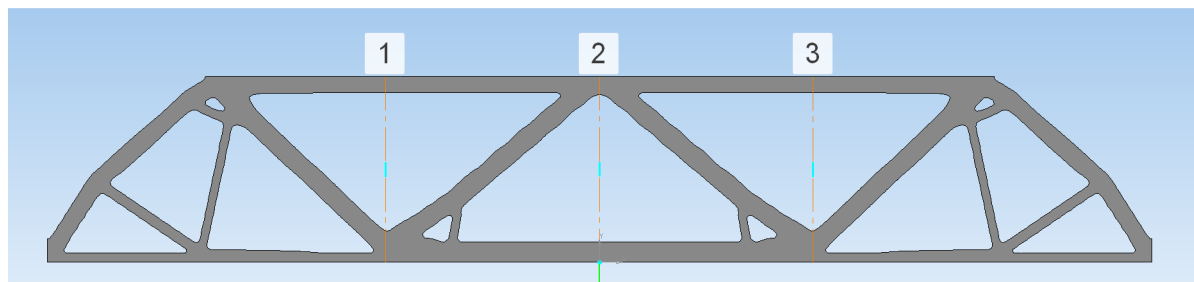


Рис. 3. Твёрдотельная модель образца с контрольными точками для исследования жёсткости

Далее геометрия экспортировалась в стандартный формат .stl, используемый для создания управляющей программы. Формирование управляющего принтером G-кода осуществлялось в системе Slic3r [9]. Образец располагался на области печати по диагонали, что обеспечило максимальный размер и благоприятные условия печати.

Как отмечено выше, основная цель создания внутренней пористой структуры – снижение массы изделий, подвергающихся изгибу. Увеличение доли пустот неизбежно сопровождается снижением жесткости конструкции. Для проверки эффективности пористого заполнения был изготовлен образец со 100% заполнением (рис. 3) и эквивалентный ему по массе образец с 10% заполнением (рис. 4). Плотность используемого ABS-пластика составляет 1050 кг/м^3 . Масса образца с 10% заполнением – 20,91 г. Следовательно, объем пластика составил $1.99 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ или 20.7% объема оптимизируемой балки. При данном значении ограничения на объем материала повторно решена задача ТО. Теоретическая масса образца составила 20.85 г, фактическая – 21.21 г, что с высокой точностью (98.6%) соответствует заданному условию эквивалентности.



Рис. 4. Образец с заполнением 10%

Для изготовленных образцов на испытательной машине Testometric M350-5AT выполнялся стандартный тест на трёхточечный изгиб. Образцы размещали на базе 228 мм, скорость испытания 1 мм/мин. Тестируемые конструкции пластичны, их разрушение

происходит постепенно, потеря прочности наблюдается в верхних горизонтальных секциях.

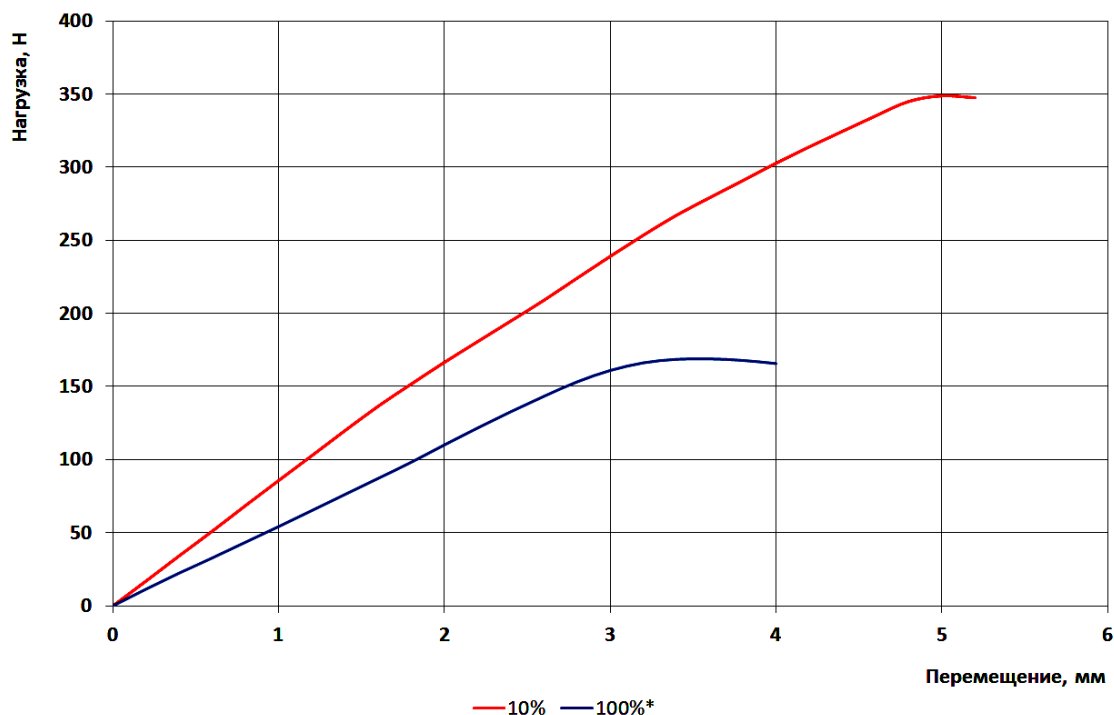


Рис. 5. Результаты трёхточечного изгиба образцов

На рис. 5 представлена экспериментальная зависимость усилия на нагружающем ролике от его перемещения для образца с $\xi = 10\%$ (контрольный) и образца с рис. 3 (монолитный).

Как видно, контрольный образец до момента потери прочности испытывает перемещения около 5 мм, при этом обеспечивая усилие 350 Н на нагружающем ролике. Монолитный образец выдерживает существенно меньшие перемещения (около 3 мм) при нагрузке 170 Н. Средняя жёсткость монолитного образца в диапазоне перемещений от 0 до 2.6 мм составила 55 Н/мм, контрольного – 82 Н/мм. Таким образом, экспериментально доказана возможность снижения массы изделий оптимальной топологии, получаемой на этапе решения задачи ТО. В приведенном примере использование внутренней пористой структуры позволило увеличить жесткость изделия в 1.5 раза.

Проведённые исследования показали актуальность адаптации методологии ТО к особенностям АТ для повышения эффективности конструкций при воздействии изгибающих нагрузок. Задачи ТО необходимо формулировать и решать с учетом особенностей и ограничений выбранной АТ для получения топологий, пригодных для изготовления. Необходимо отметить, что исследования последнего времени [10] уделяют внимание решению этого вопроса, например, возможно внесение в постановку задачи ТО ограничений, отражающих особенности технологического процесса изготовления. Это гарантирует возможность изготовления рассматриваемых изделий заявленным способом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wu, J. Infill Optimization for Additive Manufacturing-Approaching Bone-Like Porous Structures / J. Wu, N. Aage, R. Westermann, O. Sigmund // *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* – 2018. – V. 24(2). – P. 1127-1140.
2. Ferro, C.G. Characterization of ABS specimens produced via the 3D printing technology for drone structural components / C.G. Ferro, S. Brischetto, R. Torre, P. Maggiore // *Curved Layer. Struct.* – 2016. – V. 3, No. 1 – P. 172–188.
3. Robbins, J. An efficient and scalable approach for generating topologically optimized cellular structures for additive manufacturing / J. Robbins, S.J. Owen, B.W. Clark, T.E. Voth // *Addit. Manuf.* – 2016. – V. 12. – P. 296–304.
4. Bulman, S. Comparisons between algorithms for structural topology optimization using a series of benchmark studies / S. Bulman, J. Sienez, E. Hinton // *Comput. Struct.* – 2001. – V. 79, No. 12. – pp. 1203–1218.
5. Bankoti, S. Topological Optimization of 3D Structures by Optimality Criteria using ANSYS / S. Bankoti, N. Jain, A. Misra // *Int. J. Res. Emerg. Sci. Technol.* – 2015. – V.2, No. 2. – P. 30-35.
6. Bendsoe, M.P. Topology optimization by distribution of isotropic material / M.P. Bendsoe, O. Sigmund // *Topology Optimization.* – Springer: Berlin, Heidelberg, 2004, – P. 1-69.
7. Svanberg, K. A class of globally convergent optimization methods based on conservative convex separable approximations / K. Svanberg // *Soc. Ind. Appl. Math.* – 2002. – V. 12, No. 2. – P. 555–573.
8. Alekhin, P.A. Development of an Algorithm for Displaying the Topological Optimization Results in Two-Dimensional Problems of Stationary Heat Conduction / Alekhin P.A., Glebov A.O., Karpov S.V., Karpushkin S.V., Khlebnikov V.A. // *Transactions of Tambov STU.* – 2019. – V. 25, No. 1. – P. 22–35.
9. Slic3r – G-code generator for 3D printers. – [Online]. – Available: <http://slic3r.org/>. – [Accessed: 25-Jun-2021].
10. Lazarov, B.S. Length scale and manufacturability in density-based topology optimization / B.S. Lazarov, F. Wang, O. Sigmund // *Arch. Appl. Mech.* – 2016. – V. 86, No. 1–2. – P. 189-218.

УДК 62-253.001

Карпушкин С.В.¹, Мжельский М.С.²

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: maxim.mz.98@yandex.ru

АНАЛИЗ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Karpushkin S.V.¹, Mgelskiy M.S.²

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: karp@mail.tstu.ru

²e-mail: maxim.mz.98@yandex.ru

ANALYSIS OF RASTER IMAGES OF THE MATERIAL DISTRIBUTION AS A RESULT OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION

Аннотация: Предложен метод оценки результатов топологической оптимизации, основанный на анализе растровых изображений полей распределения материала. Метод предусматривает расчёт доли пикселей, характеризующих наличие материала и принадлежащих переходной области, от общего количества пикселей расчетной области. Метод является универсальным, не зависящим от вида основных расчётных уравнений, и может быть использован для качественного и количественного сопоставления результатов решения двумерных задач топологической оптимизации.

На примере задачи стационарной теплопроводности плоской металлической пластины исследовано влияние плотности расчётной сетки конечных элементов на качество результатов топологической оптимизации методом подвижных асимптот и продолжительность расчетов, найдено и обосновано оптимальное значение плотности.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, анализ изображений, SIMP-метод, метод конечных элементов, древовидная структура.

Abstract. We propose a method for estimation of topology optimization's results based on the analysis of raster images the material distribution fields. The method involves calculation of ratio of pixels that characterize the presence of material and belong to the transition region by the total number of pixels of the calculation area. The method is universal, independent of the main calculation equations, and can be used for qualitative and quantitative comparison of the results of solving two-dimensional problems of topology optimization.

The influence of density of the calculated finite element mesh on the quality of the results of topology optimization of stationary heat conduction of a flat metal plate investigated. The method of moving asymptotes was chosen as an optimization method. The duration of calculations was examined, the optimal density value of a density found and justified.

Keywords: topology optimization, image analysis, SIMP-method, finite element method, dendrite structure.

Результаты решения задач топологической оптимизации (ТО) чаще всего представляют в виде растрового изображения бинарной картины распределения материала внутри расчётной области: значению «1» соответствует наличие материала, значению «0» – его отсутствие, значениям внутри интервала (0,1) – области с промежуточной плотностью. В практике численного решения задач ТО принято считать, что области со значением плотности [0;0.4] соответствуют отсутствию материала, области в диапазоне (0.4;0.6) являются переходными, а области (0.6;1) соответствуют наличию материала. Для оценки решения задачи ТО интерес представляют две последние области. Будем называть данную шкалу представления данных «топологической».

Основой для разработки метода оценки результатов ТО является анализ растровых изображений результатов решения задач, которые часто представляются с помощью аддитивной цветовой модели RGB, которая ставит в соответствие каждому пикселю значение интенсивности красного R, зелёного G и голубого B цвета в виде {R,G,B}. В этой (растровой) шкале чёрному цвету соответствует тройка {0,0,0}, белому – {255,255,255}. Интересующие нас области топологической шкалы (0.4;0.6) и (0.6;1) в растровой будут иметь цветовую интенсивность (102,153) и (153,255) соответственно.

Идея предлагаемого метода состоит в следующем. Необходимо представить результаты ТО в виде растровой графики, например, в распространённом формате JPG. Изображения должны быть идентичными, т.е. иметь одинаковый физический размер и разрешение. Далее осуществляется расчёт количества пикселей, которые соответствуют областям (0.4;1) и (0.6;1) по топологической шкале. Для этого вводится значение допуска $\pm tol$: если контрольный чёрный пиксел имеет цветовую интенсивность {R,G,B}, то в выделение попадут пиксели, имеющую цветовую интенсивность $\{R \pm tol, G \pm tol, B \pm tol\}$.

Оценку качественного сравнения результатов ТО построим на свойстве аддитивности цветовой модели RGB. Идея состоит в наложении одного растрового изображения на другое и вычитании значения цветовой интенсивности второго изображения из соответствующих значений первого изображения. Получаемое в итоге результирующее изображение будет иметь цветовую интенсивность $\{|R_1 - R_2|, |G_1 - G_2|, |B_1 - B_2|\}$. Таким образом, одинаковые области на двух изображениях будут иметь чёрный цвет, различающиеся по интенсивности – серый, значительно отличающиеся (например, «0» и «1») – белый. По количеству и геометрии белых областей на наложенных друг на друга изображениях можно судить о качественных различиях решений задачи ТО. Для количественного анализа достаточно рассчитать количество белых пикселей с известным значением допуска интенсивности tol .

Отметим, что в некоторых работах расчётная плотность, относящаяся к отсутствию материала, принималась в диапазоне (0;0.1) по топологической шкале [1]. В предлагаемом методе оценки это повлияет лишь на значение допуска tol .

Рассмотрим задачу, аналогичную рассмотренной в [2] – двумерную задачу ТО стационарной теплопроводности пластины. Расчётная квадратная область Ω с длиной стороны 0.5 м представлена на

Рис1. Внутри расчётной области присутствует источник тепла мощностью $Q = 10^4$ Вт/м³. Для моделирования стока тепла на центральной части левой границы Γ_D (граница Дирихле) задано граничное условие первого рода – постоянная температура $T_{cool} = 0^\circ\text{C}$. Длина этого участка 0.05 м. На других границах Γ_N (границы Неймана) теплообмен отсутствует (адиабатические стенки). В качестве материала использована сталь конструкционная легированная 40ХН2МА, имеющая теплопроводность $45 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$.

В качестве основного расчётного уравнения использовано уравнение теплопроводности Фурье-Кирхгофа, в качестве целевых функций – масса материала и средняя температура пластины. Задача заключается в минимизации суммы целевых функций при допущении об их равной значимости. При этом масса пластины не должна быть меньше 30% и больше 100% первоначальной.

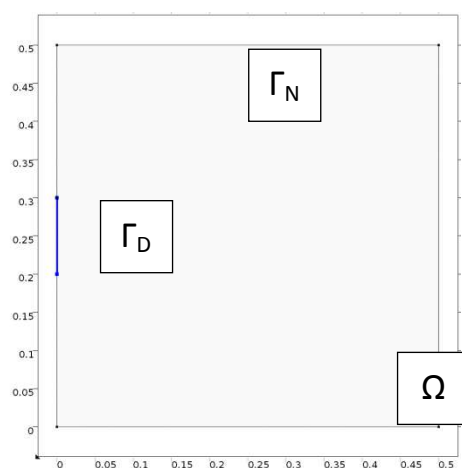
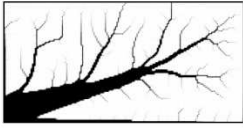

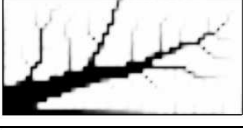



Рис 1. Расчётная область задачи ТО стационарной теплопроводности

Как видно из рис. 1, расчётная система симметрична относительно центральной горизонтальной оси, поэтому задача решалась для половины системы с применением системы конечно-элементного (КЭ) анализа. Использовалась регулярная прямоугольная сетка, её плотность определялась заданием максимального размера единичного элемента δ . Актуальность такого подхода обоснована в работе [3].

Согласно рекомендациям [4], значение параметра штрафа p SIMP-метода выбрано равным 5. Для решения задачи оптимизации использован метод подвижных асимптот (Method of Moving Asymptotes, MMA) – градиентный оптимизационный решатель, разработанный К. Сванбергом [5]. Выбор метода обусловлен его применимостью для решения задач с большим количеством варьируемых переменных (сотни, тысячи) при незначительном увеличении объема вычислений.

Таблица 1. Результаты ТО стационарной теплопроводности плоской пластины

№	δ , мм	Продолж. рас- чёта, ч	Результат ТО	$mat1$, %	$\Delta mat1$, %	$mat2$, %	$\Delta mat2$, %
1	3	3,19		20,00	-	19,44	-
2	5	0,37		19,04	4,8	18,43	5,2
3	10	0,034		18,14	9,3	17,33	10,9
4	100	0,0028		14,23	28,9	12,16	37,4

Расчёты проведены на компьютере с конфигурацией: процессор IntelCorei5-7400, 8Гб оперативной памяти. Расчёт количества пикселей проведен в растровом редакторе Adobe Photoshop CC. Результаты решения задачи ТО системы, представленной на рис. 1, для δ от 3 до 100 мм сведены в табл. 1.








Приведенные в табл. 1 графические результаты говорят о «дендрическом» или предфрактальном распределении материала, которое позволяет минимизировать термическое сопротивление между источником и стоком тепла. Для $\delta = 2$ мм продолжительность расчёта превысила 48 часов при разнице между $mat1$ (0.4;1) и $mat2$ (0.6;1) менее 3% по сравнению с расчётом для $\delta = 3$ мм. По этой причине расчёт №1 табл. 1 принят в качестве контрольного, относительно которого были найдены отклонения $\Delta mat1$ и $\Delta mat2$.

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод, что с увеличением плотности расчётной сетки степень детализации изображений увеличивается. Степень дискретизации области, используемая в расчёте №4, является неудовлетворительной: распределение материала не имеет чётко выраженной границы, а абсолютное значение плотности материала значительно отличается от контрольного решения №1.

Картины распределения материала в расчётах № 1,2 внешне похожи друг на друга. Это подтверждает и анализ значений параметров $mat1$ и $mat2$: максимальное расхождение не превышает 5%. Однако незначительное снижение детализации результатов в расчёте №2 приводит к резкому уменьшению продолжительности расчёта (в 8.6 раза). В связи с этим, плотность КЭ-сетки, соответствующая $\delta = 5$ мм, является оптимальной для решения рассмотренной задачи ТО стационарной теплопроводности.

Для оценки качественных изменений в результатах решения задачи ТО проведена серия расчётов для разных значений тепловыделения Q при найденной оптимальной плотности КЭ-сетки. Результаты сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты ТО для разных значений мощности тепловыделения

№	Q, кВт	Результат ТО	Результат наложения
1	5		
2	15		
3	30		
4	50		-

В данной серии расчёт №4 принят в качестве контрольного: анализ проведен наложением на этот результат ТО остальных изображений. Дополнительно был проведён расчёт доли белых пикселей со значением допуска $tol = 77$ и $tol = 51$ (параметры $mat1_{white}$ и $mat2_{white}$ соответственно), результаты которого представлены на рис. 2.

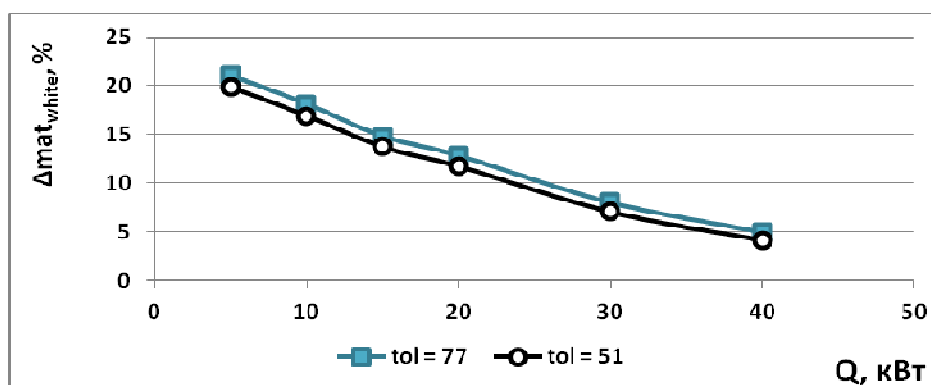


Рис. 2. Зависимость доли белых пикселей от значения внутреннего тепловыделения

Совместный анализ табл. 2 и рис. 2 позволяет сделать вывод, что с ростом значения Q нелинейно увеличивается количество материала в рассматриваемой расчётной области. При этом сохраняется характерная дендрическая структура распределения. Полученные результаты хорошо согласуются с выводами в работе [6]. Использование предлагаемого подхода, основанного на наложении изображений и выделении областей отличий, позволяет проводить оценку не только количественного, но и качественного различия результатов ТО.

Таким образом, разработанный метод позволяет находить оптимальное значение плотности КЭ-сетки, а также визуализировать отличия между различными решениями задач в одной и той же расчётной области. Это отображение результатов можно ис-

пользовать в качестве исходной геометрии для проведения последующего (мульти)физического анализа. По сравнению с подходом [7], предложенный метод отличается простотой реализации и высокой точностью решения двумерных задач. К его недостаткам можно отнести применимость только для анализа результатов решения двумерных задач ТО и требовательность к качеству исходных растровых изображений: точность резко снижается при использовании разрешения, меньшей степени дискретизации расчётной области.

Список использованных источников

1. Neves, M.M. Topology optimization of periodic microstructures with a penalization of highly localized buckling modes / M.M. Neves, O. Sigmund, M.P. Bendsøe // *Int. J. Numer. Methods Eng.*, – 2002. – Vol. 54, No. 6. – P. 809-834.
2. Lohan, D.J. Topology optimization for heat conduction using generative design algorithms / D.J. Lohan, E.M. Dede, J.T. Allison // *Struct. Multidiscip. Optim. Structural and Multidisciplinary Optimization.* – 2017. – Vol. 55, No. 3. – P. 1063-1077.
3. Haber, R.B. A new approach to variable-topology shape design using a constraint on perimeter / R.B. Haber, C.S. Jog, M.P. Bendsøe // *Struct. Optim.* – 1996. – Vol. 11, No. 1-2. – P. 1-12.
4. Bendsøe, M.P. Material interpolation schemes in topology optimization / M.P. Bendsøe, O. Sigmund // *Arch. Appl. Mech. (Ingenieur Arch).* – 1999. – Vol. 69, No. 9-0. – P. 635-654.
5. Svanberg, K. A class of globally convergent optimization methods based on conservative convex separable approximations / K. Svanberg // *Soc. Ind. Appl. Math.* – 2002. – Vol. 12, No. 2. – P. 555-573.
6. Iga, A. Topology optimization for thermal conductors considering design-dependent effects, including heat conduction and convection / A. Iga, S. Nishiwaki, K. Izui, M. Yoshimura // *Int. J. Heat Mass Transf. Elsevier Ltd.* – 2009. – Vol. 52, No. 11-12. – P. 2721-2732.
7. Koguchi, A. A surface reconstruction algorithm for topology optimization / A. Koguchi, N. Kikuchi // *Eng. Comput.* – 2006. – Vol. 22, No. 1. – P. 1-10.

УДК339.13:687.55

Лычагина В.О.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: lychagina1609@rambler.ru

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭСТЕТИЧЕСКОЙ КОСМЕТОЛОГИИ

Lychagina V.O.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail:lychagina1609@rambler.ru

3D MODELING IN AESTHETIC COSMETOLOGY

Аннотация: Описывается механизм 3D-диагностики, как ключевого инструмента в практике врача-косметолога, при проведении высококвалифицированных консультаций, отслеживании эффективности широкого спектра косметологических процедур, в том числе и лазерной терапии.

Ключевые слова: компьютерная 3D-диагностика, 3D-моделирование, кожанный покров, аппаратная косметология, лазерная терапия.

Abstract: The mechanism of 3D diagnostics is described as a key tool in the practice of a cosmetologist, when conducting highly qualified consultations, tracking the effectiveness of a wide range of cosmetic procedures, including laser therapy.

Keywords: 3D computer diagnostics, 3D modeling, leather cover, hardware cosmetology, laser therapy, appearance.

В современном мире красота тесным образом связана со здоровьем. Только здоровый человек выглядит красивым и счастливым. Состояние кожи — это основа привлекательности и показатель молодости, поэтому в современной косметологии уделяется особое внимание процедурам, улучшающим качество и внешний вид кожных покровов.

В наше время косметология предлагает широкий выбор инъекционных и аппаратных процедур для лечения и восстановления кожи лица [1,2]. Действовать наугад при решении проблем с кожей и их профилактике неэффективно и даже опасно. Аппаратная косметология идет в ногу со временем и позволяет досконально изучить структуру кожи с помощью компьютерной 3D-диагностики.

3D-диагностика позволяет увидеть себя со стороны таким, каким нас видят окружающие, т.е. 3D-модель – это объективный «портрет», изображение можно вращать на 360 градусов в любом направлении, что дает возможность рассмотреть все свои достоинства и недостатки. Главным преимуществом 3D-диагностики является возможность увидеть ожидаемый результат заранее, до процедуры, на экране монитора.

С помощью 3D-диагностики косметолог точно оценивает такие факторы, как общее состояние кожи, рельефность кожи, наличие морщин и составляет сосудистую и пигментную карту лица. После оценки состояния кожи, косметолог назначает лечение.

Самым эффективным методом лечения проблем с кожей является лазерная терапия. Современные лазерные терапевтические аппараты включают в себя огромное количество функций. Каждый аппарат уникален и имеет свои достоинства и недостатки. Производители различных фирм предлагают широкий выбор лазерных терапевтических аппаратов. Самыми популярными являются:

- 22 - многомодульная платформа IPL/фракционный лазер /Nd:YAG/Q-Switch, Lumenis, Израиль;
- Fraxelre:store DUAL - неаблятивный фракционный лазер 1550/1927 нм, Solta Medical, США;
- SpectraLutronic, Lutronic, Южная Корея;
- Косметологический аппарат CO2 YILIYA- 10600A, HONKON, Китай.

С помощью данных аппаратов проводится ряд таких процедур, как: шлифовка рубцов, удаление папиллом лазером, удаление доброкачественных образований, коррекция рубцов постакне, лазерное лечение «купероза» и «сосудистых звездочек», борьбы с мимическими морщинами и выведения татуировок и веснушек.

На сегодняшний день 3D-визуализация кожи является высококачественной технологией оценки состояния кожных покровов. Таким образом, 3D-диагностика становится ключевым инструментом в практике врача-косметолога, обеспечивая проведение высококвалифицированных консультаций, отслеживание эффективности широкого спектра косметологических процедур, в том числе и лазерной терапии.

Список использованных источников

1. Фролов, С.В., Фролова М.С., Потлов А.Ю., Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. – 2014. – №3. – С.35-45.
2. Фролов, С.В., Маковеев С.Н., Семенова С.В., Фареа С.Г. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем // Вестник ТГТУ. 2010. Т.16. №2. С.266-272.

УДК 661.935, 519.633.6, 544.723.232

Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И.

¹Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: akulinin-2006@yandex.ru

**МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТАНОВОК
КОРОТКОЦИКЛОВОЙ БЕЗНАГРЕВНОЙ АДСОРБЦИИ ДЛЯ
РАЗДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ**

Akulinin E.I., Dvoretzky D.S., Dvoretzky S.I.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: akulinin-2006@yandex.ru

**METHODOLOGY OF PRESSURE SWING ADSORPTION UNITS DESIGN
FOR SEPARATION AND PURIFICATION OF GAS MIXTURES**

Аннотация: В статье проводится анализ и систематизация построения моделей и методов математического моделирования циклических адсорбционных процессов, постановок задач оптимизации режимов и проектирования установок для разделения многокомпонентных газовых смесей и извлечения из них ценных газов (кислорода, водорода). Дается сравнительная оценка эффективности и целесообразности предлагаемых подходов и методов к их решению, оценивается перспективность направлений дальнейшего развития процессов разделения и очистки газовых смесей по способу короткоциклового безнагревной адсорбции с использованием современных средств и методов процессов и аппаратов химической технологии, системного анализа, математического моделирования и теории оптимизации (гибкости), которые наряду с интенсивно развивающимися средствами вычислительной техники позволяют создавать работоспособные энерго- и ресурсосберегающие химико-технологические процессы и установки в условиях неопределенности исходных данных.

Ключевые слова: газовая смесь, разделение, короткоцикловая безнагревная адсорбция, математическое моделирование, оптимизация, проектирование, неопределенности.

Abstract. The article analyzes and systematizes the models and methods of mathematical modeling of pressure swing adsorption processes, optimization tasks for separating multi-component gas mixtures units and extracting valuable gases (oxygen, hydrogen). A comparative assessment of the effectiveness approaches and expediency and methods for tasks solution is given. Also the methods of chemical technology, system analysis, mathematical modeling and optimization (flexibility) theory, computer sciences development for creating

workable energy- and resource-saving units of pressure swing adsorption separation and purification of gas mixtures under uncertainty is considered.

Keywords: gas mixture, separation, pressure swing adsorption, mathematical modeling, optimization, design, uncertainties.

Наиболее распространенным и эффективным методом разделения газовых смесей на твердых адсорбентах является метод короткоциклового адсорбции с циклически изменяющимся давлением, не предполагающий наличия внешнего источника тепла (в англоязычной литературе – Pressure Swing Adsorption (PSA), в русскоязычной – Короткоцикловая Безнагревная Адсорбция (КБА); стадию адсорбции в этом методе проводят при более высоком давлении, чем стадию десорбции [1].

Задача проектирования установок КБА заключается в определении оптимальной «конструкции» (технологической схемы и аппаратурно-технологического оформления циклического процесса разделения и очистки газовых смесей) химико-технологической системы – процесса, аппаратов и установки в целом и оптимизации режимов ее функционирования с использованием в качестве критерия оптимальности либо технологического показателя – степени извлечения, чистоты продуктового газа и др., либо экономического показателя – прибыли, себестоимости продукции (продуктового газа), приведенных затрат на производство и т. д.

Постановка и решение формализованной задачи математического проектирования и оптимизации режимов функционирования установок КБА осуществляется, как правило, в условиях неточности исходной физико-химической, технологической и экономической информации, с использованием неточных математических моделей, поскольку в процессе эксплуатации таких установок могут изменяться ее эксплуатационные характеристики, а также условия внешней среды. В результате приходится формулировать и решать задачу создания такой «конструкции» установки КБА для разделения и очистки газовых смесей, функционирование которой гарантирует: 1) оптимальное среднее значение некоторого показателя (технологического или экономического), оценивающего работу установки за определенный период времени ее эксплуатации; 2) сохранение работоспособности установки (выполнение требований технологического регламента) в ходе ее эксплуатации, несмотря на использование неточных математических моделей и случайные изменения внутренних и внешних неопределенных факторов.

Целью статьи является обобщение научных достижений и совершенствование на их базе теоретических основ и методологии проектирования установок КБА; предлагается анализ и систематизация существующих моделей и методов математического моделирования, оптимизационных подходов и алгоритмов для проектирования установок КБА при извлечении водорода, кислорода и азота из газовых смесей, дается сравнительная оценка эффективности и целесообразности предлагаемых подходов, а также оценивается перспективность и направления дальнейшей работы в области математического моделирования и оптимального проектирования установок КБА для разделения и очистки газовых смесей.

Методология проектирования установок КБА

Предлагаемая методология проектирования установок КБА для разделения и очистки газовых смесей опирается на оригинальные средства и методы логической структуры организации научного исследования; процедуру построения математических моделей и метод математического моделирования динамики процесса и установки КБА в целом; формализованную постановку задачи проектирования ресурсосберегающих установок КБА при наличии частичной неопределенности в исходных данных для проектирования; методы теории процессов и аппаратов химической технологии и, в частности, процессов диффузии, массо- и теплопереноса, молекулярно – кинетической теории газов, сплошной среды, гидроаэромеханики, макрокинетики, теории подобия, физического и математического моделирования, системного анализа, математической статистики и теории оптимизации для конечномерных задач. В соответствии с методологией проектирования установок КБА решаются следующие задачи: 1) определение (экспериментальным методом или расчетным путем) физических свойств газовых смесей, подлежащих разделению и очистке адсорбционным методом и равновесных характеристик систем «газовая смесь – адсорбент»; эффективности разделения газовой смеси в зависимости от равновесных характеристик адсорбента по ее компонентам; адсорбционных, механических и аэродинамических свойств цеолитовых адсорбентов типов А, X с целью их использования в установках адсорбционного разделения и очистки газовых по способу КБА; 2) экспериментальные исследования кинетики процессов адсорбции и десорбции компонентов разделяемой газовой смеси на гранулированных цеолитах в адсорбционной ячейке слоем толщиной в одно зерно; определение кинетических характеристик и коэффициентов диффузии компонентов газовых смесей при их переносе в пористой среде адсорбента; разработка методов расчета кинетики адсорбции – десорбции; 3) экспериментальные исследования динамики процессов адсорбции – десорбции при разделении газовых смесей по способу КБА; 4) построение математических моделей динамики технологического процесса и установки адсорбционного разделения и очистки газовых смесей с циклически изменяющимся давлением, проведение анализа и оптимизации моделей; 5) математическое моделирование переходных процессов (динамики) и установившихся режимов функционирования (статики), так называемого «стационарного периодического режима» установок разделения и очистки газовых смесей с циклически изменяющимся давлением (в англоязычной литературе - Cyclic Steady State (CSS)); исследование динамики неравновесной изотермической и неизотермической адсорбции; 6) оптимальное проектирование и оптимизация режимов функционирования технологических процессов и установок разделения газовых смесей по способу КБА в условиях частичной неопределенности исходных данных для проектирования.

Оптимальное проектирование установок КБА в условиях неопределенности

В соответствии с разработанной методологией сконструированы математические модели технологического процесса разделения газовых смесей по способу КБА и извлечения (концентрирования) кислорода и водорода. При этом поведение проектируемого технологического процесса и установки КБА в динамике описывается

системой дифференциальных и конечных уравнений, представляющих собой уравнения баланса веществ в сорбирующей среде (дифференциальные уравнения с частными производными параболического типа), уравнения кинетики адсорбции – десорбции (обыкновенные дифференциальные уравнения), уравнения изотерм адсорбции – десорбции (алгебраические уравнения), уравнения гидродинамики (уравнения непрерывности, движения и состояния газовой смеси), уравнение баланса и распространения тепла в движущейся среде (потоке газа) и неподвижной среде (адсорбенте) (дифференциальные уравнения с частными производными), начальные и граничные условия для дифференциальных уравнений с частными производными и обыкновенных дифференциальных уравнений математической модели [2].

Анализ процессов обогащения воздуха кислородом и извлечения водорода экспериментальными и численными методами позволил определить неопределенные факторы $\xi = \{\xi_\rho, \rho = \overline{1, n_\xi}\}$ (состав и температуру газовой смеси на входе в адсорберы установки КБА, давление на отводном выходе установки, кинетические коэффициенты массопереноса в пористой среде адсорбента) и эффективные режимные (управляющие) переменные (давление, нагнетаемое компрессором на стадии адсорбции, длительность стадии адсорбции, коэффициент обратного потока на регенерацию адсорбента и программы изменения во времени степени открытия впускных и выпускных клапанов).

Постановка задачи оптимального проектирования технологического процесса и установки разделения и очистки газовых смесей в условиях частичной неопределенности исходной информации заключается в определении конструктивных параметров d^* и режимных переменных u^* таких, при которых достигается среднее значение целевой функции (критерия оптимальности) $\varphi(u, d, y(t_{css}), \xi)$:

$$I(d^*, u^*) = \min_{d, u} \{M_\xi(\varphi(u, d, y(t_{css}), \xi)) \approx \sum_{j \in J_1} \omega_j(u, d, y(t_{css}), \xi^j)\}$$

и обеспечивается сохранение работоспособности установки (выполнение проектных ограничений) несмотря на случайные изменения вектора ξ в пределах области неопределенности Ξ ; здесь y – вектор выходных переменных установки КБА; t_{css} время выхода установки КБА на стационарный периодический режим функционирования; $M_\xi()$ - символ математического ожидания; ω_j - весовые коэффициенты квадратурной формулы, аппроксимирующей $M_\xi(\varphi(u, d, y(t_{css}), \xi))$.

Численные исследования задачи оптимизации режимов функционирования процесса обогащения воздуха кислородом по способу КБА в двухадсорберной установке (внутренний диаметр обечайки адсорбера – 0,04 м, высота слоя адсорбента – 0,2 м, диаметр гранулы адсорбента NaX – 1,6 мм, пропускная способность клапанов – 15 л/мин, объем ресивера 2л) показали, что: 1) при требуемых значениях производительности 2 нл/мин установки КБА и чистоты 40-60 об. % продуктового кислорода среднее значение степени извлечения кислорода составляет ~78%, а при 60-80 об. % –

~75%; 2) в случае необходимости обеспечения чистоты кислорода ~90 об. % при заданной производительности $\underline{G}^{out} = 2 \text{ нл/мин}$ среднее значение степени извлечения уменьшается до 60%; 3) в случае увеличения заданной чистоты $\underline{c}_{O_2}^{out}$ продуктового газа выше 90 об. % резко снижаются среднее значение степени извлечения $\bar{\eta}^*$ и производительность \underline{G}^{out} установки КБА, например, при $\underline{c}_{O_2}^{out} = 95,5 \text{ об.}\%$ имеем $\bar{\eta}^* = 5,5\%$ и $\underline{G}^{out} = 1,3 \text{ нл/мин}$.

Анализ результатов вычислительных экспериментов по исследованию задачи оптимизации режимов работы процесса разделения синтез – газа и извлечения водорода в четырехадсорберной установке КБА (внутренний диаметр обечайки адсорбера – 0,15 м, высота слоя адсорбента – 0,9 м, диаметр гранулы адсорбента NaX – 1,5 мм, пропускная способность клапанов – 20 л/мин, объем ресивера 10 л) позволяет сделать следующие выводы: 1) учет ограничения по скорости газового потока в «лобовом» слое адсорбента с целью предохранения адсорбента от истирания приводит к необходимости осторожного (ступенчатого) открытия регулирующих клапанов установки, что приводит к снижению в среднем на ~3-10% степени извлечения $\bar{\eta}^*$ водорода в установках КБА с вакуумной десорбцией по сравнению с напорной схемой установки КБА; 2) учет неопределенности в исходных данных приводит к снижению технико-экономических показателей функционирования установки КБА, что особенно заметно при производительности установки КБА менее 300 нл/мин и более 500 нл/мин; 3) решение оптимизационной задачи позволяет определить оптимальную производительность установки КБА, при которой обеспечиваются максимальные средние значения степени извлечения водорода: $\left(\bar{\eta}^*\right)_P = 61,2\%$ в установке КБА с напорной схемой и $\left(\bar{\eta}^*\right)_V = 59,5\%$ в установке КБА с вакуумной десорбцией; заданные значения чистоты $\underline{c}_{H_2}^{out} = 99,9\%$ водорода и производительности $\underline{G}^{out} = 400 \text{ нл/мин}$ установки КБА, ресурсосбережение адсорбента.

Список использованных источников

1. Ruthven, D.M. Pressure swing adsorption / D.M. Ruthven, S. Farooq, K.S. Knaebel. – New York: 1993. –189 p.
2. Akulinin, E. I. Methodology for creating and studying units for adsorption separation and purification of gas mixtures / E. I. Akulinin, O. O. Golubyatnikov, D. S. Dvoretzky, S. I. Dvoretzky // Journal of Advanced Materials and Technologies. – 2021. – V.6, № 3. – p. 179 – 204. DOI: 10.17277/jamt.2021.03.pp.179-203.

УДК 66.02.001

Мартьянов Е.И.¹, Карпушкин С.В.²

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: martyanovei@gmail.com

²e-mail: karp@mail.tstu.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЕМКОСТНЫХ АППАРАТАХ

Martyanov E.I.¹, Karpushkin S.V.²

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: martyanovei@gmail.com

²e-mail: karp@mail.tstu.ru

INCREASING THE EFFICIENCY OF MECHANICAL MIXING IN VERTICAL CAPACITIES

Аннотация: Изложены результаты исследований взаимосвязей между конструктивными параметрами механической мешалки и интенсивностью перемешивания. Показано, какой параметр и каким образом влияет на интенсивность перемешивания и энергоэффективность аппарата. Сформулированы практические рекомендации по повышению эффективности проектируемого и применяемого оборудования, реализующего механическое перемешивание.

Ключевые слова: открытая турбинная мешалка, вертикальный емкостной аппарат, механическое перемешивание, интенсивность перемешивания, энергоэффективность аппарата.

Abstract. The results of research on the relationship between the design parameters of a mechanical stirrer and the intensity of mixing are presented. It is shown which parameter and how it affects the intensity of mixing and energy efficiency of the apparatus. Practical recommendations are formulated to improve the efficiency of the designed and used equipment that implements mechanical mixing.

Keywords: open turbine mixer, vertical capacitive apparatus, mechanical stirring, stirring intensity, energy efficiency of the apparatus.

Одним из основных процессов в химической, фармацевтической и пищевой промышленности, является процесс механического перемешивания гомогенных или гетерогенных сред. Самой популярной и распространенной в промышленности является двухлопастная мешалка, применяемая либо для поддержания качественных (количественных) показателей готовой смеси, либо для равномерного перемешивания реакционной массы внутри аппарата [1,3].

Так же широко распространены открытые турбинные мешалки (рис. 1), применяемые для повышения интенсивности протекания массообменных процессов и химических реакций. В данной статье определяются значения основных конструктивных параметров этой мешалки, при которых интенсивность перемешивания будет максимальной.

В исследовании используется модель вертикального емкостного аппарата диаметром $D_r = 200$ мм и высотой $H_r = 300$ мм с эллиптическим днищем в котором перемешивается $0,006$ м³ воды с характеристиками: плотность $\rho = 998$ кг/м³, динамическая вязкость $\mu = 1.002 \cdot 10^{-3}$ Па·с при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ и давлении $P = 1.013$ МПа. Частота вращения мешалки $n = 4,17$ 1/с. Заметим, что полученные результаты будут применимы для аппаратов с соотношением $H_r/D_r = 1,5$.

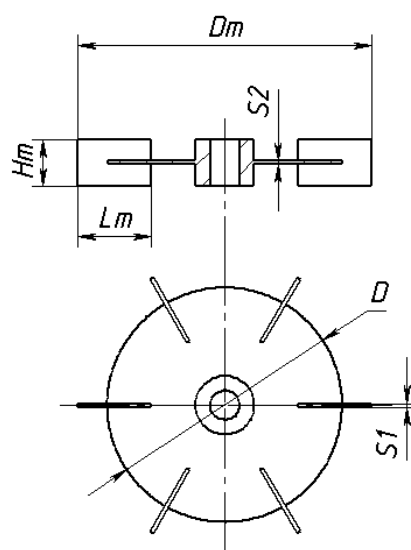


Рис. 1. Открытая турбинная мешалка

Для расчета мощности, затрачиваемой на перемешивание N_{SVS} , и суммарного вектора скорости K_{SVS} используется модель процесса механического перемешивания однородной изотермической гомогенной жидкости в вертикальном аппарате, представленная в [2].

Как видно, см. рис. 1, основными конструктивными параметрами ОТМ является диаметр D_m , высота H_m , ширина L_m и толщина S_1 лопасти, а также их количество N . Помимо этого, к основным параметрам можно отнести диаметр диска D , его толщину S_2 и высоту установки мешалки над днищем аппарата H_{hm} .

Результаты исследования связанные с определением оптимального количества лопастей ОТМ приведены на рис. 2. Как видно, при $N > 6$ интенсивность перемешивания практически не увеличивается, однако, мощность N_{SVS} с увеличением количества лопастей продолжает расти. Следовательно, ОТМ с шестью лопастями является самой энергоэффективной среди мешалок с высоким K_{SVS} .

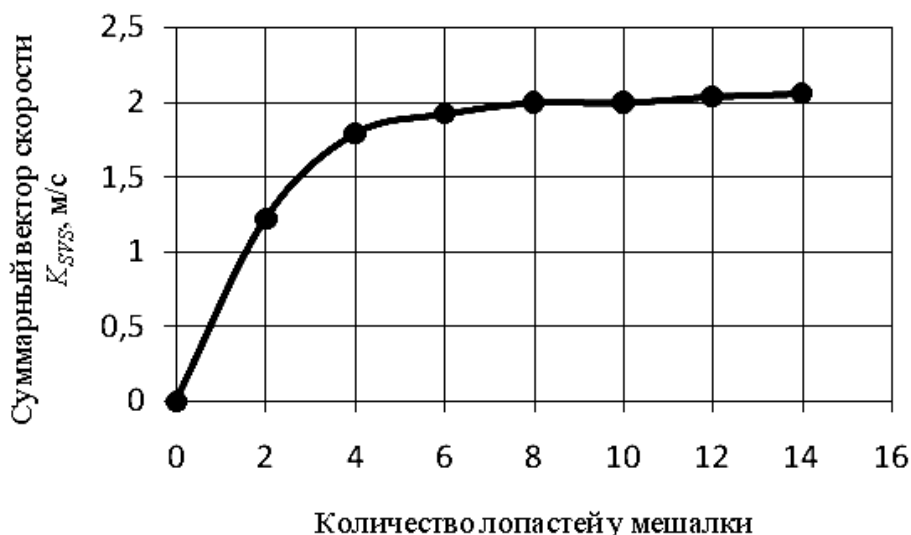


Рис. 2. Изменение суммарного вектора скорости K_{SVS} в зависимости от количества лопастей мешалки

Помимо этого, выяснилось, что толщины лопасти $S1$ и диска $S2$ не оказывают заметного влияния на процесс перемешивания. Поэтому данные параметры определяются из условий прочности материала, использованного для изготовления диска и лопастей. Для дальнейших расчетов принято, что $S1 = S2 = 0,1 \cdot H_m$.

При исследовании влияния диаметра диска D на интенсивность перемешивания точкой отсчета выбрано значение $D/D_m = 0,4$ (из-за конструктивных особенностей мешалки, а именно наличия ступицы предназначенной для крепления мешалки к валу привода). Расчеты показали, что увеличение диаметра диска D приводит к снижению интенсивности перемешивания, см. рис. 3. При значениях D , близких к диаметру мешалки D_m , диск разрезает лопасти на две половины и превращает ОТМ в подобие дисковой мешалки, для которых рекомендована более высокая частота вращения (15-25 1/с), см. [4]. Как видно, оптимальным для данного типа мешалки является значение отношения $D/D_m = 0,6$.

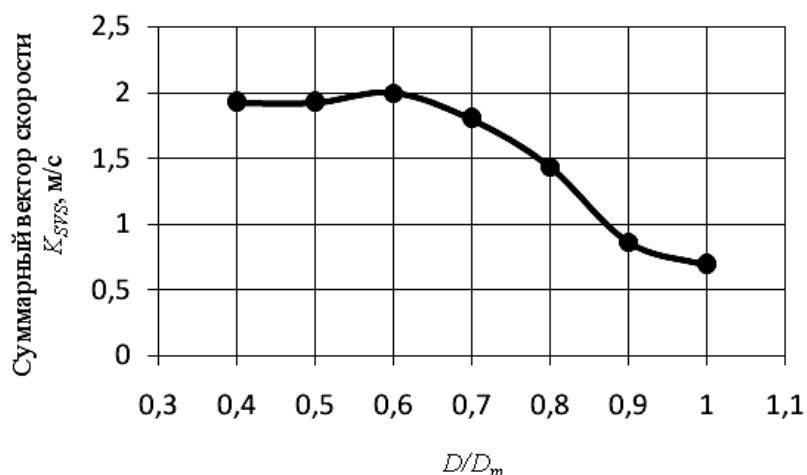


Рис. 3. Изменение суммарного вектора скорости K_{SVS} в зависимости от отношения D/D_m

Ширина лопасти мешалки L_m не может быть меньше половины разности двух диаметров, иначе она не сможет крепиться к диску, и не может быть больше половины разности диаметра мешалки и ступицы, т.е.

$$\frac{D_m - D}{2} < L_m < \frac{D_m - 0.4D_m}{2},$$

конкретно для рассматриваемой мешалки $0,2D_m < L_m < 0,3D_m$. Принято $L_m/D_m = 0,25$.

В ходе определения оптимальной высоты расположения мешалки над днищем аппарата H_{hm} выявлена следующая закономерность: чем ниже устанавливается мешалка, тем выше эффективность перемешивания за счет усиления циркуляционных потоков в ограниченном пространстве (появляются дополнительные завихрения), см. рис. 4. Для соблюдения норм безопасности проектирования оборудования [1], начальным выбрано значение $H_{hm}/H_r = 0,2$, а в качестве оптимального выбрано минимальное безопасное значение H_{hm} , при котором $H_{hm}/H_r = 0,3$.

Увеличение диаметра D_m и высоты лопасти мешалки H_m очевидно приводит к повышению интенсивности перемешивания, однако увеличение массы мешалки приведет к увеличению затрат мощности перемешивания и может привести к нарушению ограничений на виброустойчивость, жесткость и прочность вала привода, см. [4]. Значение отношения H_m/D_m высоты лопасти к диаметру мешалки обычно принимают равным 0,3, т.к. дальнейшее увеличение значения H_m потребует дополнительного усиления лопастей, которое приведет к увеличению массы мешалки и снижению интенсивности перемешивания по причине ухудшения огибания профиля лопасти и появления застойных зон вблизи ее поверхности.

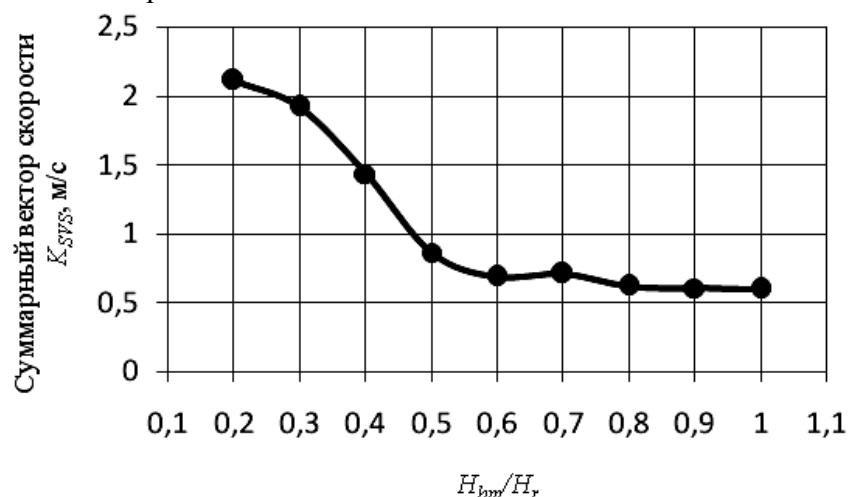


Рис. 4. Изменение суммарного вектора скорости K_{SVS} в зависимости от отношения H_{hm}/H_r

Помимо этого, при перемешивании образуется воронка и чем интенсивней перемешивание, тем больше глубина воронки. Если воронка опустится до ступицы мешалки, то большая часть перемешиваемой среды переместится к стенкам корпуса аппарата и интенсивность перемешивания снизится. Рис. 5 иллюстрирует резкое снижение интенсивности перемешивания при значении отношения D_m/D_r диаметра ОТМ к диаметру

аппарата, превышающем 0,4, по причине чрезмерного увеличения глубины воронки. Следовательно, значение $D_m/D_r = 0,4$ является оптимальным для данного типа мешалки.

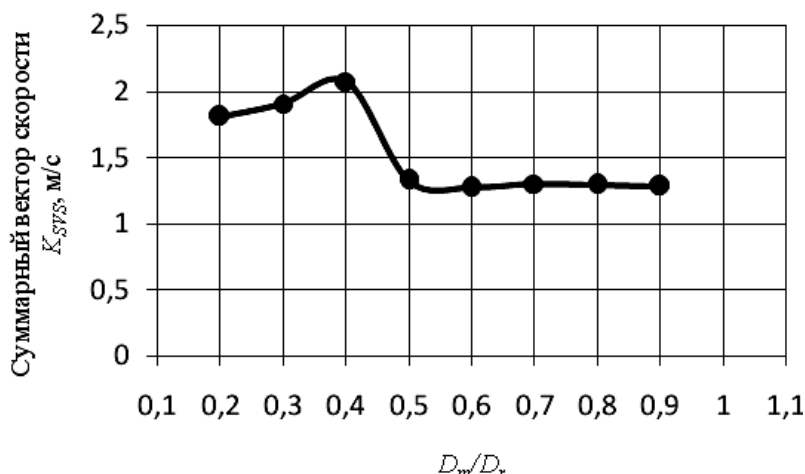


Рис. 5.Изменение суммарного вектора скорости K_{SVS} в зависимости от отношения D_m/D_r

Таким образом, определены значения конструктивных параметров ОТМ, обеспечивающие максимум интенсивности перемешивания:

- оптимальное количество лопастей мешалки $N = 6$;
- отношение диаметра диска к диаметру мешалки $D/D_m = 0,6$;
- отношение ширины лопасти к диаметру мешалки $L_m/D_m = 0,25$;
- отношение высоты расположения мешалки над днищем аппарата к его высоте $H_{hm}/H_r = 0,3$;
- отношение высоты лопасти к диаметру мешалки $H_m/D_m = 0,3$;
- отношение диаметра мешалки к диаметру аппарата $D_m/D_r = 0,4$;
- толщины лопасти мешалки и диска не оказывают заметного влияния на процесс перемешивания.

Заметим, что при выборе мешалки следует стремиться не только увеличить интенсивность перемешивания, но и уменьшить затраты мощности на перемешивание, например, ограничить значение N_{SVS} сверху.

Список использованных источников

1. Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: справ. / А.А. Лашинский, А.Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
2. Мартьянов, Е.И. Математическое описание полей скоростей в аппарате с мешалкой / Е.И. Мартьянов, Е.Н. Малыгин // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2020. – № 54. – С. 107-111.
3. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах. Физические основы и инженерные методы расчета / Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.
4. Карпушкин, С.В. Расчеты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов / С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, А.Б. Борисенко – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 168 с.

УДК 539.32

Глебов А. О., Скоморохова А.И., Иванчей Ю. С.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: glebov.alex@inbox.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ С ВНУТРЕННЕЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Glebov A. O., Skomorokhova A. I., Ivanchey Yu. S.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: glebov.alex@inbox.ru

STRAIN-STRESS STATE SIMULATION CONSTRUCTIONS WITH INTERNAL POROUS STRUCTURE

Аннотация. В статье предлагается исследовать упругие характеристики изделий из пористых материалов посредством создания эквивалентной гомогенной модели с эффективными модулями упругости. Сравнение расчетных данных с экспериментальными подтвердило возможность использования такого подхода при проектировании нагруженных конструкций.

Ключевые слова: эффективные модули упругости, метод конечных элементов, пористый материал, ANSYS

Abstract. The article proposes to investigate the elastic characteristics of products made of porous materials by creating an equivalent homogeneous model with effective elastic moduli. Comparison of calculated data with experimental data confirmed the possibility of using this approach in the design of loaded structures.

Keywords: effective elastic moduli, finite element method, porous material, ANSYS

Материалы с пористой структурой находят широкое применение во многих современных отраслях промышленности ввиду их специфических свойств, аналоги которым сложно, а в некоторых случаях невозможно найти среди традиционных конструкционных материалов [1]. Теоретическое исследование материалов с внутренней пористой структурой сопровождается значительными сложностями ввиду больших объемов вычислений при непосредственном расчете их характеристик. Упрощение вычислений достигается путем создания моделей с более простой геометрией, отражающих главные черты пористого тела, значимые для определения конкретных параметров и зависимостей.

Эксплуатационные характеристики изделий во многом определяются упругими свойствами материала. Для их прогнозирования воспользуемся континуальной теорией, в рамках которой модули упругости пористой структуры заменяются эффективными, а сам материал представляется как эквивалентная гомогенная система [2].

Создание расчетных моделей производилось в системе конечно-элементного анализа ANSYS. Нахождение эффективных модулей упругости осуществлялось посредством решения независимых задач об упругом деформировании некоторого выделенного объема в материале (представительной ячейки) под действием всестороннего сжатия и чистого сдвига.

Для проверки возможности применения методики численного расчета эффективных модулей упругости при проектировании изделий было проведено сравнение теоретического расчета с опытными данными, приведенными в работе [3]. Расчетные модели для теоретического расчета представлены на рис. 1. и рис. 2

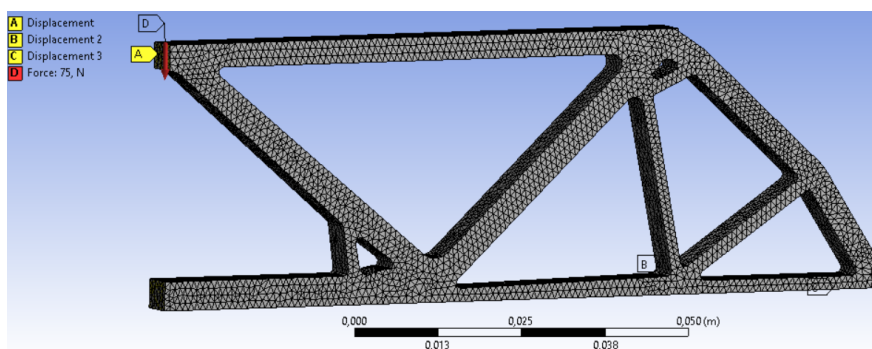


Рис. 1. Расчетная схема нагружения монолитного образца

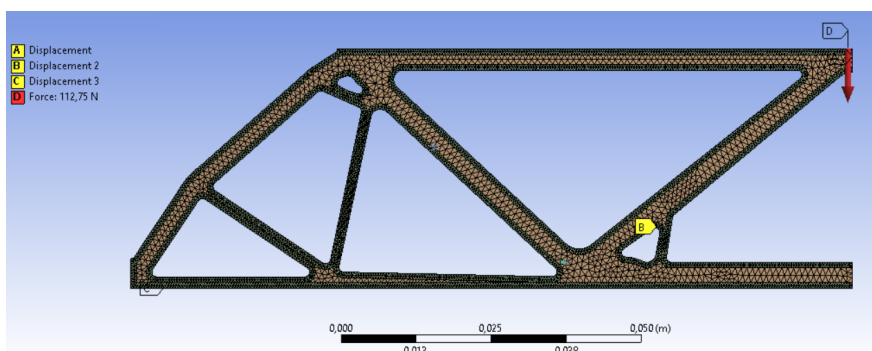


Рис. 2. Расчетная схема нагружения для образцов с заполнением 10, 30 и 70%

Расчетная модель (рис.1) использовалась для проверки исходных значений упругих свойств ABS-пластика путем сопоставления экспериментальной величины перемещения монолитного образца от нагрузки с теоретическим расчетом. В расчетной модели (рис. 2) учитывалось, что внешние грани экспериментальных образцов изготавливались сплошными, а процент заполнения изменялся только для внутренней структуры.

Полученные значения перемещений представлены на рис. 3.

Высокая сходимость результатов теоретического расчета напряженно-деформированного состояния МВВ-балки оптимальной топологии с внутренней пористой структурой с данными, полученными экспериментально, свидетельствует о возможности применения предлагаемой методики.

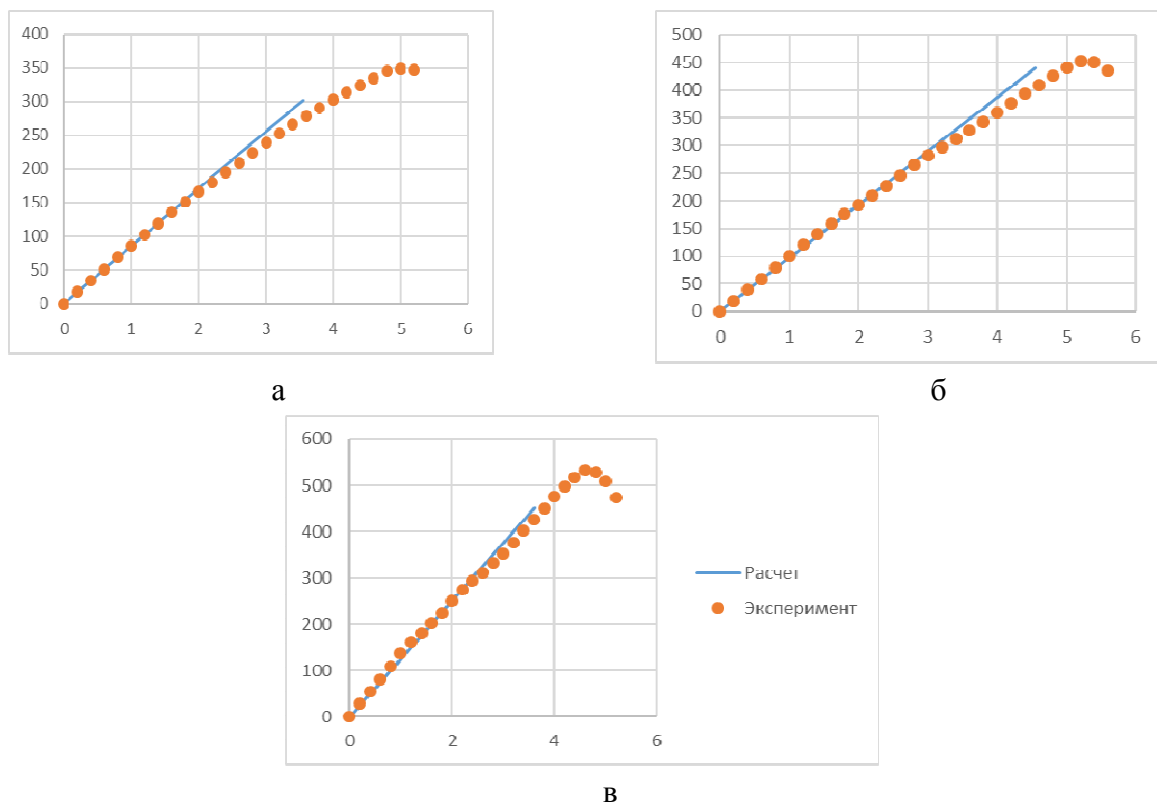


Рис. 3. Сравнение теоретического расчета с экспериментальными данными для образцов с заполнением 10% (а); 30% (б); 70% (в)

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-1088.2021.4).

Список использованных источников

1. Van Der Voort, P. Introduction to Porous Materials / P. Van Der Voort, K. Leus, E. De Canck. – John Wiley & Sons, 2019. – 448 p.
2. Chritensen, R. M. Mechanics of Composite Materials / R. M. Chritensen. – New York etc.: Wiley, 1979. –348 p.
3. Perspectives for organization of internal porous structure of loaded elements of optimal topology / P. A. Alekhin, A. O. Glebov, S. V. Karpov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 709: 022028.

УДК 504.064.36

Аветисян А. Р., Шнякина Я. И., Проскуряков С. В.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

ООО «Медтехника», Россия, г. Тамбов

e-mail: awetini@gmail.com

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ В КАБИНЕТЕ МРТ

Avetisyan A. R., Shnyakina Ya. I., Proskuryakov S. V.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

LLC «Medtechnika», Russia, Tambov

e-mail: awetini@gmail.com

SOFTWARE OF THE PARAMETER MONITORING SYSTEM IN THE MRI ROOM

Аннотация: показано как при помощи использования программного обеспечения для виртуальных систем мониторинга можно осуществить дистанционный контроль параметров в кабинете магнитно-резонансной томографии и ускорить время обнаружения и устранения аварийных процессов.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, мониторинг, кабинет МРТ, микроклимат, визуализация параметров.

Abstract: It is shown how using the software for virtual monitoring systems, it is possible to carry out remote control of parameters in the magnetic resonance imaging room and speed up the time of detection and elimination of emergency processes.

Keywords: magnetic resonance imaging, monitoring, MRI room, microclimate, visualization of parameters.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является стремительно развивающимся методом диагностики [1-8]. По сравнению с другими диагностическими методами значимым преимуществом МРТ является отсутствие ионизирующего излучения. Его сущность заключается в эффекте резонансного поглощения протонами электромагнитных волн. В силу некоторых особенностей устройства оборудования для данного обследования возникает потребность в контроле за соблюдением микроклиматических условий.

Комната сканирования (помещение для обследования, в котором располагается МР-томограф) должна соответствовать определённым требованиям к показателям температуры и влажности. Функционирование без системы контроля данных параметров

(микроклимата) невозможно. Отклонения от рекомендуемых значений могут оказывать отрицательное влияние на работу аппарата и качество диагностических снимков.

На кафедре «Биомедицинская техника» ТГТУ разработан прототип (макет) кабинета МРТ, целью которого являлось решение следующей задачи – поддержание климата в кабинете магнитно-резонансной томографии [2].

Для осуществления визуализации параметров, поддерживаемых в кабинете МРТ, необходимо использование систем дистанционного мониторинга. Данные системы позволяют осуществлять контроль основных показателей состояния комнаты сканирования и, следовательно, поддерживать стабильную работу аппарата и комфортные условия для прохождения исследования. В случае возникновения аварийной ситуации предполагается оповещение инженера для её своевременного обнаружения и устранения.

Примером такой виртуальной визуализации является система мониторинга за состоянием МРТ компании «Рустомограф» (рис. 1, 2). С её помощью возможно постоянное удалённое наблюдение за требуемыми для работы МР-томографа параметрами.



Рис. 1. Система мониторинга «Mega SX»

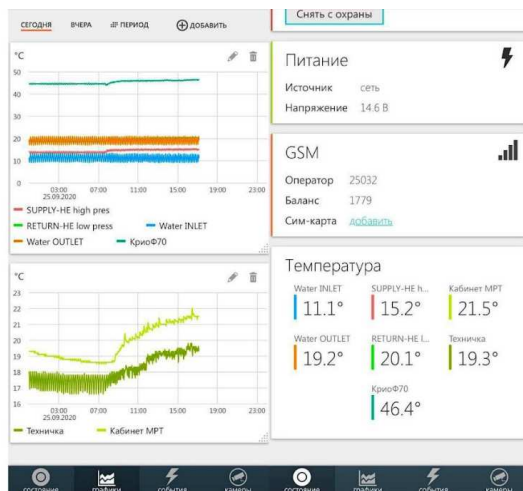


Рис. 2. Приложение для визуализации и контроля параметров

Для реализации и дальнейшего совершенствования работы подобных систем, а также для демонстраций в учебном процессе может быть осуществлено виртуальное моделирование различных процессов в имеющемся прототипе кабинета МРТ. Такой

подход поможет обнаружить слабые и сильные стороны системы, выявить проблемы и перспективы развития.

Список использованных источников

1. Ринк, П. А. Магнитный резонанс в медицине: основной учебник Европейского Форума по магнитному резонансу / П. А. Ринк. – Издание третье, пер. с англ. – Oxford, Backwell scientific publications, 1995. – 247 с.

2. Черешнев, В. О., Кулешов, И. В., Аветисян, А. Р., Ильин, Г. П., Шнякина, Я. И. Разработка автоматической системы регулирования климата в кабинете магнитно-резонансной томографии // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - БИОМЕДСИСТЕМЫ-2020: МАТЕРИАЛЫ XXXIII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ. – Рязань: Изд-во «Book Jet», 2020. – с.319-321.

3. Фролова, Т. А., Фролова, М. С. Информационные модели для оценки медицинского устройства // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IV Международной научно-практической конференции в 3 т.; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4.Т.3, с.123-128.

4. Чуксин, А.А., Фролова, Т.А. Разработка автоматизированной системы автоконтроля реографа для повышения качества технического обслуживания // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы IV Международной научно-практической конференции : в 3 т./ ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – Вып. 4. Т.3, с.318-323.

5. Коновалова, К.Н., Фролова, Т.А. Современные средства обработки информации в ядерной медицине// Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы II международной научно-практической конференции. – Вып. 2 : в 2 т.; ФГБОУ ВПО «ТГТУ». – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – Вып. 2. – Т. II.

6. Фролов, С.В., Фролова, М.С., Потлов, А.Ю., Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. – 2014. – №3. – С.35-45.

7. Фролов, С.В., Маковеев, С.Н., Семенова, С.В., Фареев, С.Г. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем // Вестник ТГТУ. 2010. Т.16. №2. С.266-272.

8. Фролов, С.В., Фролова, М.С. Мировые проблемы при выборе медицинского изделия для учреждения здравоохранения// Менеджер здравоохранения. – 2013. – №11. – С.50-61.

УДК004.052.42:57.087.1

Моисеева М.В.¹, Фурсова А.В.², Яковлев А.В.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: mariyamoiseeva@mail.ru

²e-mail: fursova_arina@inbox.ru,

³e-mail: yava73@bk.ru

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ НА ОСНОВЕ ДАКТИЛОСКОПИИ И ОДНОРАЗОВОГО ПАРОЛЯ

Moiseeva M.V.¹, Fursova A.V.¹, Yakovlev A.V.¹

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: mariyamoiseeva@mail.ru

²e-mail: fursova_arina@inbox.ru,

³e-mail: yava73@bk.ru

PHYSICAL ACCESS CONTROL SYSTEM USING FINGERPRINTING AND ONE-TIME PASSWORD

Аннотация: на сегодняшний день биометрические методы аутентификации – одни из самых надежных, эффективных и универсальных инструментов по контролю доступа к критическим ресурсам. Аутентификация на основе отпечатка пальца – способ идентификации и подтверждения личности работника по его уникальным узорам участка кожи. Данная технология получила широкое распространение вследствие невысокой стоимости реализации и удобству использования. Разработано программное обеспечение системы контроля и управления доступом на основе биометрии, позволяющее идентифицировать объект путем сравнения полученного изображения отпечатка пальца с сохраненным эталоном в базе данных. Создана аппаратная часть системы на основе микроконтроллера Arduino.

Ключевые слова: система контроля и управления доступом, одноразовый пароль, отпечаток пальца, сканер отпечатка пальца, биометрическая аутентификация.

Abstract: nowadays biometric authentication is one of the most reliable, effective and universal method for controlling access to critical resources. Fingerprint-based authentication is a way to identify and confirm the identity of an employee based on his unique patterns of a skin area. This technology has become widespread due to the low cost of implementation and ease of use. The software of the access control and management system based on biometrics, which makes it possible to identify an object by comparing the obtained fingerprint image with the stored reference in the database, has been developed. The hardware part of the system based on the Arduino microcontroller has been created.

Keywords: physical access control system, one-time password, fingerprint, fingerprint scanner, biometric authentication.

Современные средства контроля и управления доступомиспользуют в качестве аутентификации один из трех факторов: фактор знания, фактор владения, фактор сущности. Каждый из данных способов имеет ряд уязвимостей: утрата пароля, возможность создание дубликата уникального предмета и т. д. Биометрические системы на основе отпечатков пальцев освобождают пользователя от ответственности постоянного слежения за дополнительным предметом или запоминания комбинации символов. Для снижения риска проникновения на объект нарушителя возможна реализация двухфакторной аутентификации.

Аутентификация по отпечатку пальца означает автоматический процесс верификации совпадения между двумя снимками отпечатка пальца человека[1]. Это является одним из многих способов биометрии для определения личности пользователя.

Алгоритмы по сопоставлению двух отпечатков пальцев подразделяют на две категории: алгоритмы, которые попарно сравнивают полученное изображение с имеющимися в базе данных снимками; алгоритмы, сопоставляющие отдельные детали между отпечатками.

В алгоритме на основе дактилоскопических деталей, который является самым распространённым, детали отпечатка пальца выделяются из двух отпечатков и заносятся в наборы точек в двумерной плоскости. Каждая деталь хранится в виде триплета m , то есть $m = \{x, y, \theta\}$, где x – деталь, y – координаты её расположения, θ – её угол:

$$T = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}, m_i = \{x_i, y_i, \theta_i\}, i = 1, \dots, m, \quad (1)$$

$$I = \{m_1^{\backslash}, m_2^{\backslash}, \dots, m_n^{\backslash}\}, m_j^{\backslash} = \{x_j^{\backslash}, y_j^{\backslash}, \theta_j^{\backslash}\}, j = 1, \dots, n. \quad (2)$$

В этой ситуации m и n означают число деталей в T и I соответственно. Деталь m_i из T и деталь m_j^{\backslash} из I считаются совпавшими, если пространственное расстояние sd между ними меньше заданного допустимого отклонения r_0 , а разность в направлении dd между ними меньше допустимого отклонения угла θ_0 :

$$d(m_j, m_i) = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \leq r_0, \quad (3)$$

$$dd(m_j, m_i) = \min(|\theta_j - \theta_i|, 360^\circ - |\theta_j - \theta_i|) \leq \theta_0. \quad (4)$$

Пространства допустимых отклонений, которые обозначаются с помощью r_0 и θ_0 необходимы для восполнения неизбежных ошибок, которые будут появляться в процессе работы алгоритма по выделению деталей и незначительному изменению формы, что приводит к смене положению самих деталей.

Из исходного изображения выделяются все найденные детали. Далее эта же операция повторяется для нового снимка, который собирается получить доступ к системе. Полученные данные с первого этапа проходят процедуру алгоритма и выстраиваются в соответствии с положением нового отпечатка пальца. При этом эта операция может

быть выполнена иначе: будут развёрнуты детали нового снимка относительно оригинала. В итоге детали двух изображений накладываются друг на друга, после чего программа выполняет расчёты по вычислению процентного соотношения их совпадения. На основе этих результатов будет принято решение принадлежат ли эти отпечатки одному и тому же человеку.

В качестве второго фактора аутентификации возможно использование одноразового кода, применение которых позволяет снизить вероятность несанкционированного доступа в результате компрометации обычного пароля[2]. Для создания одноразового пароля следует использовать алгоритм HMAC-BasedOne-TimePasswordAlgorithm, который основан на применении значения счетчика по генерации кода. Данный метод, в отличие от алгоритма Time-basedOne-timePasswordAlgorithm, не обладает уязвимостями, которые появляются из-за задержек в процессе передачи.

Реализация прототипа аппаратной части системы контроля и управления доступом на основе дактилоскопии и одноразового пароля возможно с использованием следующих компонентов: микроконтроллер, сканер, модуль SIM-карты, клавиатура, дисплей, микрофон, динамик, понижающий преобразователь, реле, замок, макетная плата.

Микроконтроллер «ArduinoMega 2560» основан на микрочипе «ATmega2560» и включает 54 цифровых входных и выходных контакта, 15 из которых могут использоваться для широтно-импульсной модуляции, 16 аналоговых контактов, 4 последовательных порта, кварцевый генератор в 16 МГц, USB вход, возможность подключения внешнего питания, кнопка перезагрузки. Позволяет управлять всеми подключенными модулями, обеспечивать ранение исполняемого кода программы, обеспечивать обмен служебными данными и показателями между компонентами всей системы[3].

Сканер – устройство по получению изображения отпечатка пальца, выполняющий хранение всех снимков, сравнение полученных данных с информацией из базы данных. В результате уведомляет администратора о совпадении изображения со снимками легальных пользователей и индексе уверенности в этом решении; для работы необходимы последовательные порты для обмена данными между сканером и микроконтроллером Arduino.

Модуль SIM-карты обеспечивает установление связи с ближайшей сотовой вышкой по отношению к местонахождению системы, отправляет уведомления администратору или начальнику о том, какой пользователь совершил вход в контролируемую зону. При этом доступна функция совершения звонка на данное устройство и выполнения общения между сотрудником и оператором для устранения возникших неполадок удалённо.

Для корректной работы GSM-модуля необходимо напряжение, которое находится в пределах от 3,4 до 4,4 вольт, при этом микроконтроллер может обеспечить 3,3 или 5 вольт. Поэтому необходимо добавить понижающий преобразователь и установить напряжение на уровне 4 вольт.

Макетная плата является важным элементом для удобства соединения компонентов без использования инструментов для пайки; предоставляет ряд десятков дополнительных контактов, включая заземление и питание от основной микросхемы.

Динамик подключен непосредственно к модулю SIM-карты для того, чтобы у пользователя была возможность слышать речь администратора, который совершил звонок на модуль SIM-карты в связи с возникшей проблемой в работе устройства для предоставления помощи.

Электромагнитный замок на 12 вольт будет открываться при совпадении отпечатка пальца и ввода верного ПИН-кода, полученного в сообщении.

Реле подключается к соленоиду. При совпадении изображения и кода по 8-му контакту Arduino будет отправлена команда на реле, сигнализирующая о необходимости открытия замка. В результате цепь будет замкнута, это активирует магнит в соленоиде, и замок откроется[4].

Такая реализация системы контроля и управления доступом позволяет уменьшить вероятность ошибочного доступа нарушителя информационной безопасности по отпечатку пальцу, при этом значение возможного отказа доступа к объекту зарегистрированного субъекта будет фиксированным. Данный программно-аппаратный комплекс позволяет обеспечить информационную безопасность контролируемой территории и может быть использована в аэропортах, архивах, банках и различных предприятиях.

Список использованных источников

1. Чичагов, Л.М. Пособие по дактилоскопии [Текст] / Л.М. Чичагов. – М.: ЁЁ Медиа, 2012. – 86 с.
2. Security Intelligence «Multifactor Authentication Delivers the Convenience and Security Online Shoppers Demand». [Электронный ресурс]. – URL: <https://securityintelligence.com/multifactor-authentication-delivers-the-convenience-and-security-online-shoppers-demand/> (дата обращения 9.09.2021).–Заглавие с экрана.
3. Петин, В.А. Практическая энциклопедия Arduino [Текст] / В.А. Петин, А.А. Биняковский. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 152 с.
4. Блум, Д. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства [Текст]/ Д. Блум. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 544 с.

УДК 004.021

Немтинов В.А., Мамедов Р.И., Мамедова И.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail:mamedovainna071@gmail.com

АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ТРАССИРОВКИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Nemtinov V. A., Mamedov P.I., Mamedova I.A.

Tambov state technical university, Tambov, Russia

e-mail:mamedovainna071@gmail.com

ANALYSIS OF DESIGN SOLUTIONS FOR TRACING MUNICIPAL HEATING NETWORKS

Аннотация: В данной работе поставлена задача трассировки тепловых сетей, являющаяся подзадачей формирования плана территорий муниципальных образований. При нахождении оптимального варианта трассировки тепловых сетей используется приближенный метод построения сетей коммуникаций (деревьев Штейнера).

Ключевые слова: трассировка тепловых сетей, план территории муниципального образования

Abstract. In this paper, the task of tracing thermal networks is set, which is a subtask of forming a plan of territories of municipalities. When finding the optimal option for tracing thermal networks, an approximate method of constructing communication networks (Steiner trees) is used.

Keywords: tracing of heating networks, the plan of the territory of the municipality.

Территория муниципальных образований представляют собой сложный комплекс взаимосвязанных объектов различного назначения. Выбор оптимальных объемно-планировочных решений по размещению объектов на данной территории является сложной задачей [1 - 4]. Эффективность решения такой задачи зависит от большого числа факторов, значительная часть которых трудно формализуема. Качество решения задачи, с точки зрения специалиста, зависит от числа размещенных объектов и их габаритов, количества минимальных и максимальных разрывов между объектами, подлежащих обязательному соблюдению, конфигурации существующих на площадке магистралей и т.п.

Задача формирования плана территории муниципальных образований относится к классу комбинаторных задач.

При решении задачи необходимо знать расположение источников энергии (ЛЭП, магистральные трубопроводы), расположенные за пределами области, а также транспортные коммуникации, проходящие в области (автодорога, коллектор и т.п.). На тер-

ритории существуют зоны, где строительство недопустимо вообще (наличие водоемов, действующих объектов и т.п.). На территории строительства могут существовать зоны, где целесообразно разместить объекты определенного назначения. Например, природные водоемы (озера, запруды и т.п.) и т.д.

Для отдельных объектов важны минимальные и максимальные допустимые расстояния между объектами и границей области муниципального образования, а также между объектами.

Тепловые сети относятся к виду коммуникаций, при прокладке их по территории строительства имеют зоны, в пределах которых недопустимо строительство каких-либо объектов и прокладка других коммуникаций. Для них надо задать противопожарные и санитарные разрывы между различными коммуникациями и между коммуникациями и объектами.

Рассмотрим правила размещения объектов и коммуникаций:

Условие 1. Необходимость соблюдения санитарно-технических и противопожарных разрывов:

а) между объектами: $\forall i, c \in [1, \dots, N]$

$$\left(|x_{o_i} - x_{o_c}| - \frac{x_{p_i} + x_{p_c}}{2} \geq l1'_{ic} \right) \vee \left(|y_{o_i} - y_{o_c}| - \frac{y_{p_i} + y_{p_c}}{2} \geq l1'_{ic} \right); \quad (1)$$

б) между теплотрассами и объектами, не являющимися точками “истока” и “стока” для соответствующих коммуникаций: $\forall i \in \overline{1, N}, \quad \forall j \in \overline{1, N_k}$

$$\left(|x_{o_i} - x_{c_j}| - \frac{x_{p_i} + l_{k_j}}{2} \geq l2''_{ij} \right) \vee \left(|y_{o_i} - y_{c_j}| - \frac{y_{p_i} + l_{k_j}}{2} \geq l2''_{ij} \right), \quad (2)$$

где $x_{c_j}, y_{c_j}, h_{c_j}$ – координаты точки c_j , принадлежащей групповой или одиночной трассе;

в) между коммуникациями:

$$\left(|x_{c_j} - x_{c_h}| - \frac{l_{k_j} + l_{k_h}}{2} \geq l2'_{jh} \right) \vee \left(|y_{c_j} - y_{c_h}| - \frac{l_{k_j} + l_{k_h}}{2} \geq l2'_{jh} \right) \vee \left(|h_{c_j} - h_{c_h}| - \frac{h'_{k_j} + h_{k_h}}{2} \geq l2'_{jh} \right), \quad (3)$$

Условие 2. Прокладка коммуникаций осуществляется на заданных уровнях:

$$H_j = (\pm h_{jt}^o)_{E_j}, \quad j = \overline{1, N_k}, \quad (4)$$

где E_j – количество возможных уровней прохождения j -ой коммуникации; h_{jt}^o – t -ый уровень прокладки j -ой коммуникации, знак (+) или (-) определяет расположение трассы относительно поверхности земли.

Условия (1) – (3), характеризующие правила размещения объектов и коммуникаций на плане территории муниципального образования, и необходимая для них исходная информация представляют собой модель проектного решения.

При нахождении оптимального варианта трассировки тепловых сетей используется приближенный метод построения сетей коммуникаций (деревьев Штейнера) в ортогональной метрике. Такая процедура размещения объектов на территории муниципальных образований носит локальный характер, но учитывая возможность получения “хорошего” начального размещения объектов с предварительной трассировкой коммуникаций и последующего улучшения решения за счет парных перестановок и окончательной трассировки, полученное решение достаточно близко к глобальному оптимуму.

Список использованных источников

1. Зайцев, И.Д. Теория и методы автоматизированного проектирования химических производств./ И.Д. Зайцев. Наукова думка – К., 1981.
2. Минаков, И.П. Использование ЭВМ при проектировании генеральных планов и объемно-планировочных решений/ И.П. Минаков, И.И. Рафалович, В.С. Тимощук В.С. Наука, Л., 1982.
3. Немтинов, В.А. Об оценке эффективности инвестиционной деятельности при размещении химических производств / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова // Вестник Тамбовск. госуниверсит. техн. ун-та. – 2002. – Т. 8, № 2. - С. 375 – 382.
4. Пахомов, П.И. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов. Москва, 2009. 123 с.
5. Пахомов, П.И. Процедурная модель выбора трубопроводной арматуры для водопроводных и тепловых систем / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Серия "технические науки". 2008. Т. 2, №. 4. С. 133 – 140.
6. Mokrozub, V.G Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov, A.V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. – Т. 53. – № 5-6. – С. 326-331.
7. Мокрозуб, В.Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.В. Морозов, А.С. Коновалова А.С. // Радиотехника. 2010. – № 12. – С. 29-32.
8. Немтинов, К.В., Ерусланов А.К., Немтинов В.А. Технология автоматизированного синтеза сложных технологических комплексов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 75–83.
9. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я.Егоров, П.И.Пахомов // Информационные технологии. -2009. № 10. - С. 34-38.
10. Мокрозуб, В.Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 3. С. 68-73.

УДК 004.032.26

Шнякина Я. И., Аветисян А. Р., Дубровин В. В.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: scorpio0751@gmail.com

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ В ЭКГ

Shnyakina Ya.I., Avetisyan A. R., Dubrovin V. V.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: scorpio0751@gmail.com

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR DETECTING DEVIATIONS IN THE ECG

Аннотация: рассматривается интеллектуальная система в области медицинской диагностики для улучшения и упрощения постановки диагноза при заболеваниях сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: интеллектуальная система, электрокардиограмма, диагностика, заболевания сердечно-сосудистой системы, желудочковая экстрасистолия.

Abstract: an intelligent system in the field of medical diagnostics is considered to improve and simplify the diagnosis of diseases of the cardiovascular system.

Keywords: intelligent system, electrocardiogram, diagnostics, diseases of the cardiovascular system, ventricular extrasystole.

Среди множества заболеваний, являющихся причиной смертности населения, первое место в мире занимают заболевания сердечно-сосудистой системы. Данный факт обеспечивает актуальность и важность проведения наиболее точной диагностики и повышения качества выделения характерных признаков из электрокардиограммы (ЭКГ).

Необходимой частью кардиографической системы является программное обеспечение, которое производит фильтрацию сигналов с использованием вейвлет-преобразования, анализ данных сигналов ЭКГ на основе нейронной сети и дает подсказку специалисту для постановки диагноза.

Благодаря современным техническим ресурсам появляется возможность качественной виртуальной визуализации развития патологических процессов с целью их предотвращения на ранних стадиях. Использование экспертных систем позволяет воспользоваться большими объёмами накопленных данных, что приводит к более точным результатам обследования.

Интеллектуальная диагностическая система основана на способах автоматической систематизации случаев из реальной медицинской практики или на методах обучения с

конкретными вариантами. Например, в случае желудочковой экстрасистолии (рис. 1) можно выделить следующие признаки, необходимые для обучения нейронной сети: преждевременное появление измененного желудочкового комплекса QRS на ЭКГ, перед которым отсутствует зубец Р (за исключением поздних желудочковых экстрасистол, перед которыми есть Р); расширение экстрасистолического комплекса QRS до 0,12 с и больше и его деформация (сегмент RS-T и зубец Т экстрасистолы расположен дискордантно направлению основного зубца комплекса QRS); наличие после желудочковой экстрасистолы полной компенсаторной паузы (удвоенный RR основного ритма).



Рис. 1. ЭКГ при желудочковой экстрасистолии

В данных интеллектуальных системах с помощью специализированных алгоритмов (рис. 2) с предварительной обработкой достигается устойчивое распознавание типов ЭКГ и выявление отклонений [1-3].

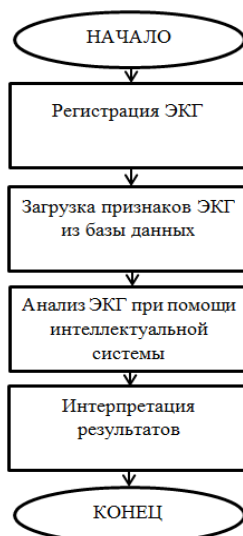


Рис. 2. Алгоритм программы

Результатом анализа ЭКГ является отображение в окне программы сообщения о наличии или отсутствии признаков определённого заболевания (в рассмотренном нами случае – желудочковой экстрасистолии). Опираясь на полученную с помощью интеллектуальной системы информацию, медицинский работник сможет вынести более точное и объективное предварительное заключение за короткий промежуток времени [4].

Таким образом, использование подобных систем в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний позволит повысить эффективность работы специалистов и качество здравоохранения.

Список использованных источников

1. Дьяконов, В.И. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / В.И Дьяконов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
2. Kumar, S. Detection of heart diseases using fuzzy logic [Текст] / S. Kumar, G. Kaur // International Journal of Engineering Trends and Technology, 2013. – с. 2694-2699.
3. Калиниченко, А.Н. Влияние частоты дискретизации ЭКГ на точность вычисления спектральных параметров variability сердечного ритма / А.Н. Калиниченко, О.Д. Юрьева // Информационно-управляющие системы, 2008. - №2. – с. 46-49.
4. Шнякина, Я.И., Аветисян А.Р., Дубровин В.В. Фильтрация электрокардиосигналов при помощи дискретного вейвлет-преобразования / Я. И.Шнякина, А. Р. Аветисян, В. В. Дубровин // Шестая Всероссийская молодёжная научная конференция, посвящённая Дню радио связи. Тезисы докладов. Электронный ресурс. Издательство: Тамбовский государственный технический университет (Тамбов), 2021. – с. 388-390.

УДК 004.94:631.314.3

Рыжков А.В., Мачкарин А.В.

Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина,
Россия, Белгородский район, п. Майский
e-mail: Ryzhkovbgsha@yandex.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО НОЖЕВОГО КАТКА И САЕ АНАЛИЗ ПОЛУОСИ

Ryzhkov A.V., Machkarin A.V.

Belgorod state agricultural university named V. Ya. Gorin,
Russia, Belgorod region, p. Mayskiy
e-mail: Ryzhkovbgsha@yandex.ru

MODELING OF A TILLAGE KNIFE ROLLER AND CAE ANALYSIS OF THE SEMI-AXIS

Аннотация: Анализ литературы, основанный в первую очередь на опыте эксплуатации почвообрабатывающих машин, помог выявить несовершенство конструкции рабочих органов машин для мульчирующей обработки почвы. Задача изучения автоматизированных методов разработки и оптимизации рабочих органов сельскохозяйственных машин, является одной из ключевых задач при проектировании. Приводится пример разработки 3D модели ножевого мульчирующего катка при помощи САД системы Компас-3D, а также элемент инженерного анализа полуоси катка (САЕ анализ).

Ключевые слова: Мульчирование, обработка почвы, ножевой каток-мульчировщик, инженерный анализ (САЕ), каток, полуось, 3D-визуализация.

Abstract. An analysis of the literature, based primarily on the experience of operating tillage machines, helped to identify the imperfection of the design of the working bodies of machines for mulching tillage. The task of studying automated methods of development and optimization of working bodies of agricultural machines is one of the key tasks in the design. An example of the development of a 3D model of a knife mulching roller using the Compass-3D CAD system, as well as an element of the engineering analysis of the semi-axis of the roller (CAE analysis).

Keywords: Mulching, tillage, knife roller-mulcher, engineering analysis (CAE), roller, semi-axis, 3D visualization.

В последнее десятилетие для погодных условий в Белгородской области характерна нестабильность. В этой связи, необходимо выявлять негативные явления, обусловленные указанным фактором, и реализовывать ключевые принципы защиты от них. Определяющее значение в противодействии погодным факторам, имеющим негативный характер, имеют новые энерго- и ресурсосберегающие технологии. Указанные

технологии базируются на применении новых машин и орудий, позволяющих минимизировать обработку почвенного слоя, на прямом посеве и использовании мульчировщиков [1,2].

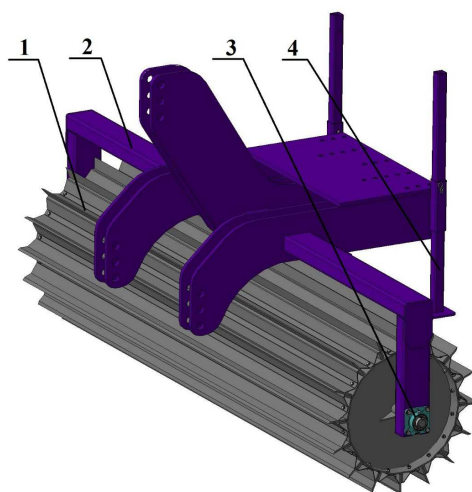
Ключевым принципом при выращивании культур зернового, технического и пропашного характера должен стать следующий: зерно - для людей, пожнивные остатки - для почвы.

Мульчирование является приемом, выполняющим разнообразные полезные функции. Мульчирование позволяет вернуть органические вещества в почвенный слой. Оно обеспечивает сохранение влаги. Влияние мульчирования на состояние почвы является весьма значительным. Наблюдается нивелирование колебаний таких параметров, как температура, влажность. Сокращается угроза промерзаний. Мульчирование позволяет снизить опасность различных эрозий. Наряду с вышеуказанным, за счет мульчирования можно добиться оптимизации структуры почвы [3].

На основе анализа представленных в научных работах исследований представляется возможным отметить высокий уровень изученности вопроса о мульчировании сидеральных культур. Для решения данной задачи активно применяются почвообрабатывающие машины дискового типа, измельчители сидеральных культур, имеющие активный привод рабочих органов, вал которых расположен горизонтально либо вертикально. Данные машины успешно действуют в полевых условиях [4].

При этом практика свидетельствует, что степень износа подшипников в дисковых орудиях существенным образом увеличивается в процессе использования для измельчения зеленого удобрения.

В этой связи специалисты в области производства и эксплуатацию находятся в непрерывном поиске оптимальной конструкции измельчителей растительности, позволяющих проводить процесс измельчения с минимумом экономических затрат. При этом учитывается потребность в том, чтобы пожнивные и растительные остатки измельчались с наименьшими временными затратами [5].

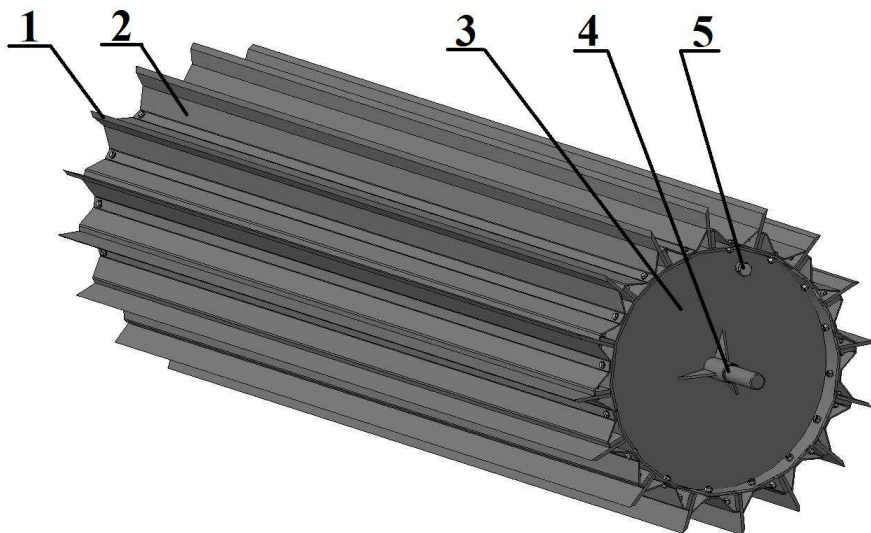


1-каток; 2-рама; 3-корпусный подшипник; 4-устройство стабилизации.

Рис. 1. Ножевой каток-мульчировщик НКМ-3,0

Почвозащитное земледелие нуждается в современных ножевых катках-роллерах, катках спирально-ножевого типа. Предлагаемый и моделируемый ножевой каток-мульчировщик НКМ-3,0 (рис. 1) может применяться для того, чтобы обрабатывать поля, на которых производится выращивание зерновых, овощных культур, хлопка, кукурузы, рапса, подсолнечника, хлопка и др [6].

Каток (роллер) конструктивно выполнен в виде стального барабана, диаметр которого составляет 600 мм, а толщина – 6 мм. Барабан заполняется водой, что позволяет увеличить вес. Роллер оснащается ножами шириной 100 мм. Соответственно, величина общего диаметра равна 800 мм (рис. 2).



1-нож; 2-реборда; 3-барабан; 4-ось; 5-заливная горловина.

Рис. 2. Ножевой каток

Интенсивность воздействия обеспечивается посредством изменения удельного веса катка на метр длины. Для этого в каток заливается вода. Рабочая скорость составляет от двенадцати до пятнадцати километров в час, с возможным увеличением до двадцати пяти километров в час. Высокая рабочая скорость и потребляемая мощность требуют применения стальных осей. Также необходимо применение конических роликовых подшипников, и двойных манжетных уплотнений. НКМ-3,0 характеризуется простотой при высокой мощности. Он может эффективно использоваться вместо ботворезов и мульчировщиков. Высокая производительность, сравнительно небольшие расходы на эксплуатацию являются достоинствами НКМ-3,0, позволяющими снижать затраты.

На НКМ-3,0 имеются специальные закаленные ножи, позволяющие в процессе работы при высоких рабочих скоростях добиваться получения необходимого результата и измельчать растительные остатки. Для измельчения применяется 12 наборов ножей, занимающих всю поверхность барабана. Нагрузка на барабане на протяжении всей рабочей ширины составляет порядка 500-700 кг/м. Применение НКМ-3,0 позволяет оставлять в земле корни пожнивных остатков, что приводит к минимизации выхода азота.

Нами было выполнено проектирование и моделирование 3-D модели ножевого мульчирующего катка. Проектирование и изготовление машин сельскохозяйственного назначения становится все более сложным. Существует необходимость поиска новых, интеллектуальных подходов к созданию конструкций, позволяющих адекватно вписываться в концепцию разрабатываемой модели и быстро выпускать изделия в различных исполнениях.

Одним из средств управления жизненным циклом изделия (PLM), которые повышают эффективность работы, является инженерный анализ (CAE).

Широкое применение трехмерного моделирования в различных САД-системах для решения конструкторских задач дает массу преимуществ на последующих этапах, в частности — при проведении прочностных расчетов, контроле собираемости изделия, оптимизации по массе и разработке технологических процессов. Кроме того, выполненные в САД-системе 3D-модели применяются для быстрого создания фотореалистичных изображений [7].

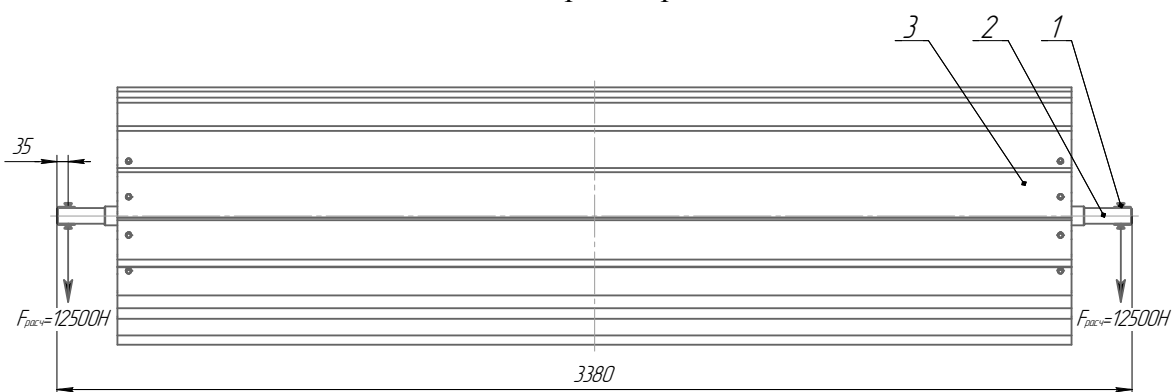
Применение 3D-визуализации при создании виртуальных опытных образцов - один из самых эффективных способов быстрого выполнения проектов. Для этого в системе предусмотрены такие специальные функции, как выявление пересечений деталей и численное моделирование (для оценки изделия в статике и динамике, контроля кинематики и усталостных напряжений). Данные функции, а также расчеты методом конечных элементов точно воспроизводят поведение реального изделия. Уже на этапе проектирования устраняются такие ошибки, как столкновение деталей. Не менее важным является разработка технологической и конструкторской документации, а также ведение отчетности. Рабочие чертежи генерируются по 3D моделям. На основе чертежей готового изделия создаются трехмерные пошаговые инструкции по сборке.

Современной моделью является твердотельная модель, которая описывается в терминах того трехмерного объема, который занимает определяемое ею тело. Таким образом, твердотельное моделирование является единственным методом, позволяющим однозначно описать трехмерный геометрический объект. В основе моделирования твердого тела лежит последовательное выполнение булевых операций (объединение, вычитание и пересечение) над объемными элементами (сферами, призмами, цилиндрами, конусами, пирамидами и т.д.). Достоинствами твердотельной модели являются: – возможность разграничения внешней и внутренней областей объекта, что необходимо для обнаружения нежелательных взаимовлияний компонентов; – обеспечение автоматического удаления скрытых линий; – автоматическое построение трехмерных разрезов и сечений компонентов, что особенно важно при анализе сложных сборочных изделий; – точность при вычислении геометрических и массо-центровочных характеристик объектов; – наличие разнообразной палитры цветов, управление цветовой гаммой, что способствует качественному изображению форм, компонентов и сечений [8].

При эскизном проектировании выполняются расчеты параметров рабочих органов, обосновываются принципиальные конструктивные решения. После проведения анализа известных конструкций представляется конструктивно – технологическая схема машины (или основного модульного устройства).

На основании полученных технологической схемы и рабочих параметров проектируемой сельскохозяйственной машины создается виртуальный прототип (трехмерная модель) макетного образца машины с применением систем автоматизированного проектирования. Создание трехмерной модели проектируемой машины включает выполнение следующих этапов: - двухмерное проектирование (плоское моделирование); - трехмерное моделирование одной детали; - создание сборочной единицы; - проведение расчетов и построения (САЕ анализ) [9-12].

В качестве примера приведем расчет полуосей катка методом конечных элементов (МКЭ), являющегося основным, мощным инструментом для прочностного анализа сложных линейных и нелинейных инженерных проблем.



1 – подшипниковая опора; 2 – полуось; 3 – каток.

Рис. 3. Схема нагружения катка и полуоси подшипникового узла

В качестве расчетной нагрузки принимается нагрузка, действующая с максимальной длительностью. Размещение двух подшипниковых узлов производится на концах секции, на каждой из сторон размещается один подшипниковый узел. Каждый из подшипниковых узлов находится под действием нагрузки, обусловленной силой веса катка ($G=18600H$) и силой, обусловленной сопротивлением резанию растительных остатков ($F_{ро} = 500H/м$) (рис. 3).

Ширина захвата составляет 3 м. Таким образом, последняя из указанных сил применительно к нашему катку будет составлять 1500H. Учитывая, что почвенный покров является неоднородным, принимая во внимание неоднородное качество почвенной поверхности и растительных остатков необходимо повысить уровень нагрузки, образующейся на подшипниковых узлах, до 25000H. Величина нагрузки, которая будет действовать на каждый из подшипниковых узлов, составит $F_{расч} = 12500H$.

Расчеты произведены с использованием модуля АРМ FEM Компас-3D. АРМ FEM является инструментом, который интегрирован в КОМПАС-3D, позволяет подготавливать твердотельную модель (деталь либо сборку) и затем проводить последующий конечно-элементный анализ (рис. 4).

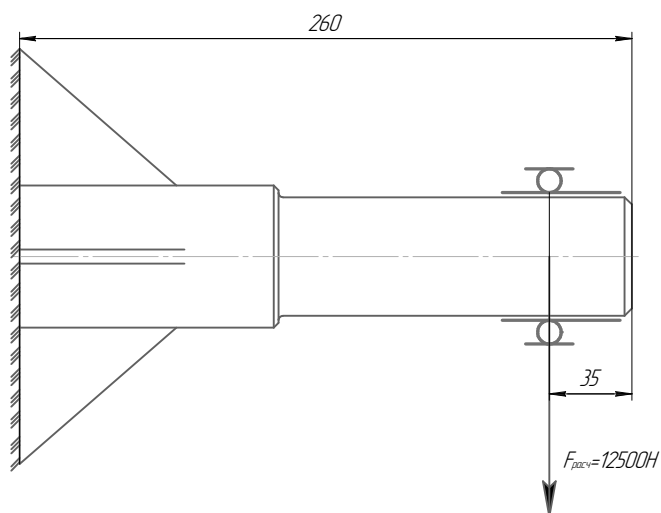


Рис. 4. Схема нагружения полуоси подшипникового узла

Геометрическая 3D-модель подготавливается с применением средств системы КОМПАС-3D, с помощью которых также задается материал. Посредством АРМ FEM возможно приложение нагрузки различного типа, задание граничных условий, формирование конечно-элементной сетки и проведение расчета. Конечные элементы при этом генерируются в автоматическом режиме.

Согласно принятым нагрузкам и схеме нагружения, прочностные параметры вала подшипникового узла рассчитаны посредством АРМ FEM САПР КОМПАС – 3D. В системе обеспечивается возможность статического расчета твердотельных моделей с визуализацией результатов.

Предварительно произведен выбор режимов нагружения, установление сил и закрепления. Произведено разбиение детали на конечные элементы в количестве 15380. Проведенные расчеты обеспечили получение карты напряжений (рис. 5).

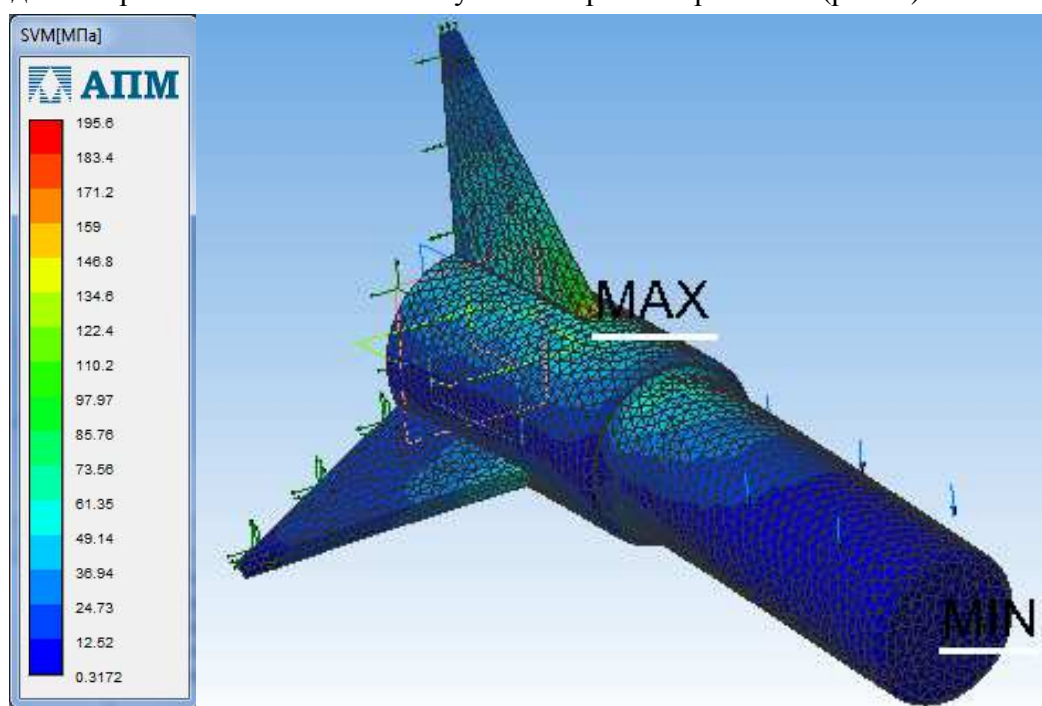


Рис. 5. Карта напряжений полуоси катка

При работе катка-измельчителя максимальное напряжение на полуоси составит 195,6 МПа в области крепления верхней косынки к телу полуоси. Это допустимо, так как меньше допускаемого напряжения изгиба для стали 45 – 275 МПа.

Использование современных вычислительных комплексов конечно-элементного расчета существенно упрощают прочностные расчеты и дают возможность получить исчерпывающие данные как по нагружению рабочего органа конструкции почвообрабатывающей машины, так и по прогнозированию. В свою очередь прогнозирование поможет предотвратить или минимизировать риски возникновения отказов и разрушения рабочих органов при дальнейшей эксплуатации почвообрабатывающих машин, в том числе после модернизации.

Список использованных источников

1. Рыжков, А.В. Дисковый почвообрабатывающий агрегат с пружинным спиральным катком / А.В. Рыжков, А.В. Мачкарин // Материалы Национальной научно-практической конференции «Инновационные решения в агроинженерии в XXI веке». Решения проблем взаимодействия науки и бизнеса. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 152-156.

2. Рыжков, А.В. Агрегат для измельчения сидератов и растительных остатков / А.В. Рыжков // Материалы XXV Международной научно-производственной конференции «Роль науки в удвоении валового регионального продукта» (26-27 мая 2021 года): в 2 т. Том 1. п. Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. -148-149 с.

3. Жерновой, М.Е. Почвообрабатывающий агрегат с рабочими органами в виде волнистых дисков / М.Е. Жерновой, А.В. Рыжков // Материалы Международной студенческой научной конференции «Горинские чтения. Инновационные решения для АПК» (24-25 февраля 2021 года): в 4-х томах, т.3., п. - Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 14.

4. Козленко, И.С. Дисково-ножевой рабочий орган для мульчировщика / И.С. Козленко, А.В. Рыжков // Материалы Международной студенческой научной конференции «Горинские чтения. Инновационные решения для АПК» (24-25 февраля 2021 года): в 4-х томах, т.3., п. - Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 18.

5. Шиман, Е.О. Применение турбодисковых рабочих органов при обработке почвы в условиях биологизации земледелия / Е.О. Шиман, А.В. Рыжков // Материалы Международной студенческой научной конференции «Горинские чтения. Инновационные решения для АПК» (24-25 февраля 2021 года): в 4-х томах, т.3., п. - Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. – С. 35.

6. Рыжков, А.В. Дисковый агрегат для внесения жидких биологических растворов / А.В. Рыжков, А.В. Мачкарин // Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической конференции с международным участием «АГРОИНЖЕНЕРИЯ В XXI ВЕКЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ» посвященной 30-летию инженерного факультета им. А.Ф. Пономарева. – п. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2020. – С. 213-217.

7. Качалов, А.В. Дискковый рабочий орган для стерневого культиватора / А.В, Качалов, А.В. Рыжков // Материалы Международной студенческой научной конференции «Горинские чтения. Инновационные решения для АПК» (18-19 марта 2020 года): в 4-х томах, т. 3., п. - Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2020.– С. 23.

8. Рыжков, А.В. Моделирование почвообрабатывающего орудия для биологизации земледелия / А.В. Рыжков, А.В. Мачкарин, Л.Н. Красавина // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы агроинженерии и пути их решения», посвященной 40-летию Белгородского ГАУ. - п. Майский: Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – с. 18-22.

9. Рыжков, А.В. Моделирование дискового почвообрабатывающего орудия с пружинным спиральным катком / А.В. Рыжков, А.В. Мачкарин // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн [Электронный ресурс]: материалы V Международной научно-практической конференции: в 3 т. / под общ. ред. В. А. Немтинова; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – Вып. 5., т. 1. – с. 604-607.

10. Nemtinov, V.A. Visualization of a virtual space and time model of an urban development territory / V.A. Nemtinov, A.A. Gorelov, Y.V. Nemtinova, and A.B. Borisenko // *Scientific Visualization*, 2016. vol. 8, no. 1, pp. 120–132.

11. Немтинов, К.В., Ерусланов А.К., Немтинов В.А. Технология автоматизированного синтеза сложных технологических комплексов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 75–83.

12. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я.Егоров, П.И.Пахомов // Информационные технологии. -2009. № 10. - С. 34-38.

УДК 004.946

Архипов А. Е., Дедов Д. Л.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: alexei-arh@gmail.com

АНАЛИЗ МЕТРИК ОЦЕНКИ КОМПОНЕНТОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Arkhipov A. E., Dedov D. L.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: alexei-arh@gmail.com

ANALYSIS OF METRICS FOR EVALUATING COMPONENTS OF VISUALIZATION OF TRAINING COMPLEXES

Аннотация: В данной статье рассматривается анализ метрик для объективной оценки компонентов системы визуализации тренажерных комплексов. Достоинством данного подхода, в сравнении с экспертным методом является объективная оценка каждого компонента по определенным критериям и учет его совместимости с другими компонентами в итоговой структуре системы визуализации.

Ключевые слова: Адаптивные тренажерные комплексы, оценка компонентов, методика выбора, система визуализации, метрики оценки.

Abstract. This article discusses the analysis of metrics for an objective assessment of the components of the visualization system of training complexes. The advantage of this approach, in comparison with the expert method, is an objective assessment of each component according to certain criteria and taking into account its compatibility with other components in the final structure of the visualization system.

Keywords: Adaptive training complexes, component evaluation, selection methodology, visualization system, evaluation metrics.

Необходимость получения объективной оценки средств и технологий визуализации для адаптивных тренажерных комплексов (АТК) возникает в связи с их широким применением для обучения в различных сферах человеческой деятельности: для подготовки врачей, военных, обслуживающего персонала промышленных предприятий и т.д. В различных сферах применения перед АТК ставятся разные образовательные задачи, которые реализуются различными подходами, как программными, так и аппаратными. До настоящего времени формализованное методологическое обеспечение решения задач выбора компонентов системы визуализации (СВ) тренажерных комплексов не предложено. Проблема состоит в многообразии различных компонентов системы визуализации, для которых отсутствует классификация по определенным признакам,

кроме того, отсутствует система совместности компонентов между собой для обеспечения оптимальной работоспособности. Так же не существует корректной системы взаимосвязи компонентов СВ и компетенциями, которые должен развивать у обучаемого тренажерный комплекс. На сегодняшний день данные задачи решаются исключительно экспертной оценки, которая не привязана к определенной методике выбора и классификации компонентов.

Целью данной работы является анализ метрик для объективной оценки средств и технологий визуализации АТК, обеспечивающих достаточный уровень эффективности тренажера при минимальных затратах. Под технологией визуализации в данном контексте подразумевается основное направление создания структуры СВ, в рамках которой и происходит подбор наиболее оптимальных и совместимых компонентов. [1, 2]

Основной задачей системы визуализации состоит в создании обучающей среды с необходимым уровнем погружения в работу изучаемой эргатической системы. Таким образом визуализация изучаемого объекта должна быть максимально узнаваема. Кроме того, часто требуется непосредственное «грубое» и тонкое взаимодействие обучаемого с системой (нажатие на кнопку, поворот руля техники и т.д.) или мелкое. Для выполнения иных обучающих задач необходима имитация свободного перемещения обучения по эргатической системе для выполнения тренировочных задач. [3]

Синтезируемое изображение какого-либо объекта, детали или процессов должно быть узнаваемо. Несоблюдение этих требований может привести к потере времени пользователя, в попытках понять, что он видит и слышит, что значительно снижает эффективность обучения. [4]

Остановимся подробнее на системе визуализации. Она включает множество компонентов и технологий их функционирования. К компонентам относятся различного рода аппаратные средства, взаимодействующие с системой ввода или вывода информации АТК. К технологиям же относятся взаимная работа нескольких аппаратных средств.

Таким образом, компоненты системы визуализации реализуют процесс отображения различных режимов функционирования и параметров эргатических систем профессионального назначения в АТК в соответствии с выбранными моделями и алгоритмами с помощью воздействия на органы чувств человека с использованием различных средств вывода информации. Для реализации программного обеспечения системы используются различные средства создания двумерной и трехмерной графики, например, широко распространенные среды разработки и графические платформы Unity3D, DirectX, UnrealEngine, OpenGL и др.

На основании рассмотренных признаков построим классификацию компонентов и технологий визуализации (рис. 1).

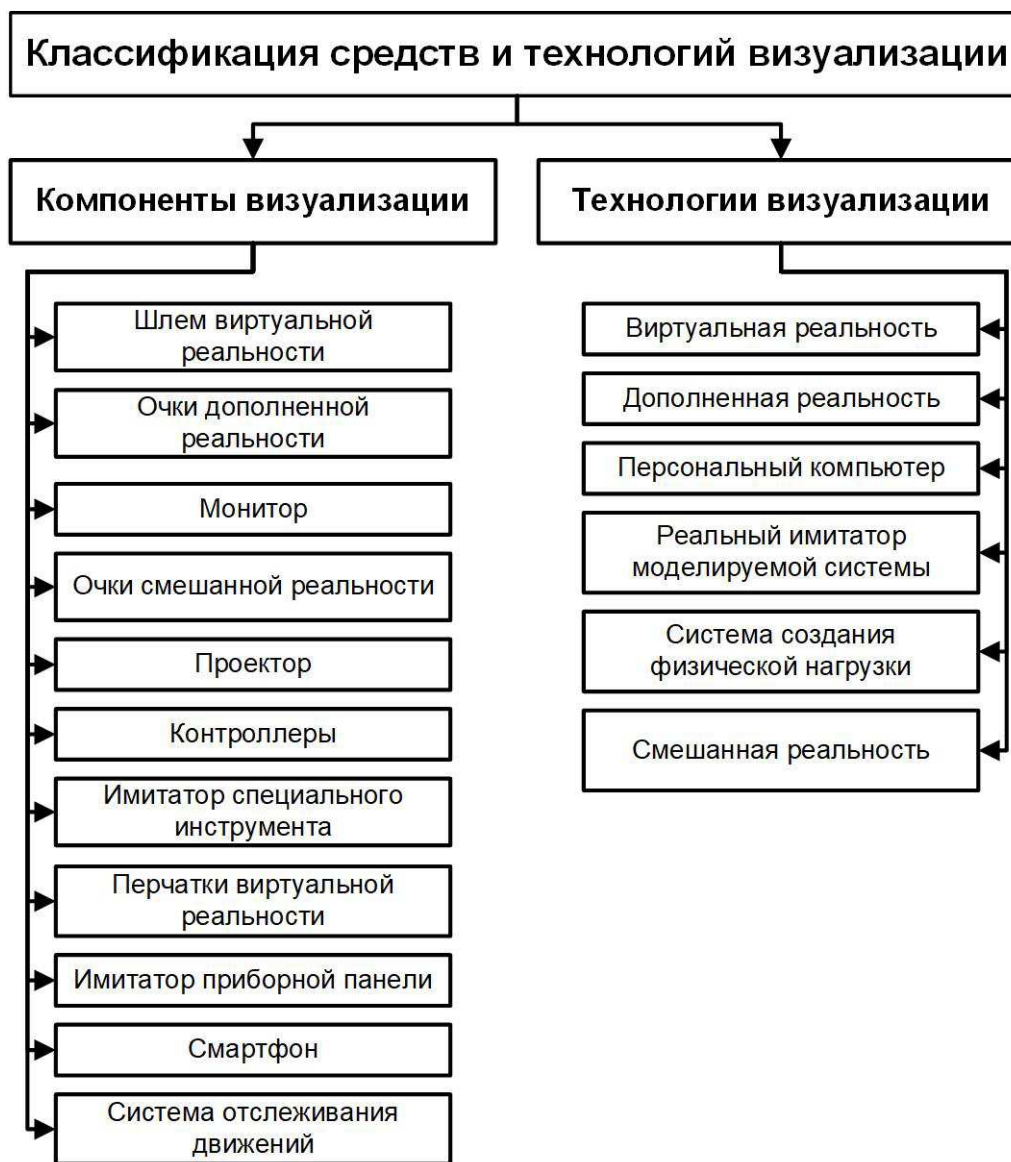


Рис. 1. Классификация средств и технологий визуализации

1. Отображение – технические возможности отображения графической информации. Наиболее главными параметрами будут являться реалистичность воспроизведения трехмерных объектов и точность оценки расстояния до них. В данном случае набор метрик будет иметь следующий вид:

1. Точность восприятия размеров 3D объектов
2. Точность восприятия расстояний
3. Уровень погружения, объемность визуализации
4. Работа с высокополигональными сценами
5. Возможность высокочастотной отрисовки отображения

2. Взаимодействие – возможности и достоверность взаимодействий с объектами в виртуальном пространстве тренажерного комплекса. Метрику «точность взаимодействия» в зависимости от области применения разрабатываемого АТК можно рассматривать отдельно для мелких и крупных объектов (взаимодействие с крупными объектами

не требует использование мелкой моторики пальцев руки, например управление рычагами для перемещения предметов а взаимодействие с мелкими невозможно без использования пальцев рук, например, кнопки на пульте управления, сборка технического узла). [6] Набор метрик будет следующий:

1. Точность взаимодействия с «крупными» объектами
2. Точность взаимодействия с «мелкими» объектами
3. Реалистичность взаимодействия

3. Перемещение – возможности перемещения графического представления пользователя (виртуального аватара) в виртуальном пространстве тренажерного комплекса. Важными метриками в данном случае являются уровень точности позиционирования (определения координат) и реалистичности перемещения виртуального аватара, с помощью которых можно объективно оценить целесообразность применения того или иного компонента для конкретного спектра задач: [7]

1. Точность перемещения
2. Реалистичность перемещения
3. Точность позиционирования

4. Звук – наиболее важными характеристиками устройств для создания звукового сопровождения, применимых к АТК являются:

1. Объемность звучания
2. Изолирующие свойства звукового устройства от внешних звуков

Использование перечисленных метрик в связке с результатами тестирования, опытной и промышленной эксплуатации позволяет сформировать систему визуализации АТК, адекватную решаемой образовательной задаче.

Для решения задачи повышения эффективности формирования системы визуализации АТК предлагается анализ метрик для оценки средств и технологий визуализации, качественно превосходящая субъективную оценку, т.к. позволяет формализовать процесс выбора компонентов системы визуализации; оценить их по ряду критериев, сократить этап анализа компонентов визуализации, а также сформулировать требования к алгоритмическому и математическому обеспечению, которое может использоваться в дальнейшем при программной реализации изложенной методики в системах поддержки принятия решений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Роганов, В. Р., Семочкина, И. Ю., Тюрин, М. В. О необходимости учета комплексного подхода при создании и исследовании информационных моделей виртуального пространства тренажерных систем //Надежность и качество сложных систем. – 2015. – №. 4 (12) – С. 38-44.
2. Krasnyanskiy, M.N. ,Obukhov, A.D., Dedov, D.L. Problem formulation for determining the effectiveness of development and application of adaptive training systems for ergatic

systems. // International Review on Modelling and Simulations. – 2020. – Vol. 13, Is. 3. – P. 159-169.

3. Родителей, А. В., Гиацингов, А. М. Высокоуровневая архитектура тренажерно-обучающих систем сложных технических комплексов // Программные продукты и системы. – 2018. – №3 С. 10-17.

4. Кабанков, П. Ю., Коробков, С. П., Репин, С. И. Особенности применения современных инфокоммуникационных технологий в интересах комплексной подготовки войск //I-methods. – 2019. – Т. 11. – №. 2 – С. 1-8.

6. Красильников, Н.Н. Механизмы и погрешности восприятия 3D-пространства зрительной системой // Информационно-управляющие системы. –2014. – №6 – С. 13-20.

7. Obukhov, A., Krasnyanskiy, M., Nikolyukin, M. Mathematical modeling and optimization of adaptive information system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 971. – №. 3. – 032062.

8. Емельянов, А. В., Гордеев, В. Н., Жабин, И. П. Разработка процедурного тренажера съемной подвижной пушечной установки //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – №. 4 – С. 110-117.

УДК 004.946

Назарова А. О., Теселкин Д.Д., Обухов А.Д.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: nazarova.al.ol@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ФИТНЕС-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ UNITY

Nazarova A. O., Teselkin D.D., Obukhov A.D.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: nazarova.al.ol@yandex.ru

DEVELOPMENT OF A FITNESS PLATFORM FOR VIRTUAL REALITY IN THE UNITY DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Аннотация: В статье рассмотрен способ создания фитнес-приложения для бега на основе системы виртуальной реальности с реализацией взаимодействия с управляемой беговой дорожкой.

Ключевые слова: виртуальная реальность, фитнес-приложение, Unity, иммерсивность, управляемая беговая дорожка.

Abstract. The article describes a method for creating a fitness application for running based on a virtual reality system with the implementation of interaction with a controlled treadmill.

Keywords: virtual reality, fitness application, Unity, immersiveness, controlled treadmill.

В последние несколько лет спрос на технологии, позволяющие людям дистанционно общаться, учиться, работать, развлекаться, активно рос, и в выборе цифрового устройства пользователи чаще стали предпочитать системы виртуальной или дополненной реальности (VR/AR). Это побудило компании, занимающиеся разработкой различного прикладного программного обеспечения расширять предложение на рынке VR/AR приложений.

Эргономика существующего технического обеспечения VR/AR позволяет изменить свое взаимодействие с цифровым устройством, что в свою очередь изменяет подход к созданию любого программного продукта для массового пользователя. Так совершенствование технологий VR/AR позволило переосмыслить отношение к геймингу. Ранее время, проведенное в игре на цифровом устройстве, считалось самым неактивным, сейчас же пользователи имеют возможность повысить свою двигательную активность, при этом оставаясь вовлеченными в процесс игровой деятельности.

Занятия фитнесом не вызывают у подавляющего большинства людей энтузиазма в процессе выполнения упражнений. А поскольку играм свойственно вызывать у челове-

ка чувство вовлеченности, то совмещение виртуальной реальности с двигательной активностью способствует повышению заинтересованности пользователя в процессе выполнения физических упражнений [1].

Для реализации фитнес-приложения была выбрана среда Unity. Данная среда разработки имеет широкие возможности и является надёжным инструментом, а вокруг нее сложились активные сообщества с многочисленными информационными ресурсами, что позволяет ей быть более интуитивно понятной и эффективной для начинающих разработчиков. Далее была подключена система ввода Steam VR для поддержания ввода с VR-гарнитуры Vive HTC и Open VR – для поддержки Steam VR.

Далее были созданы сцены тренажерных комплексов: «Лес» (рис.1, слева), «Побережье» (рис. 1, справа).

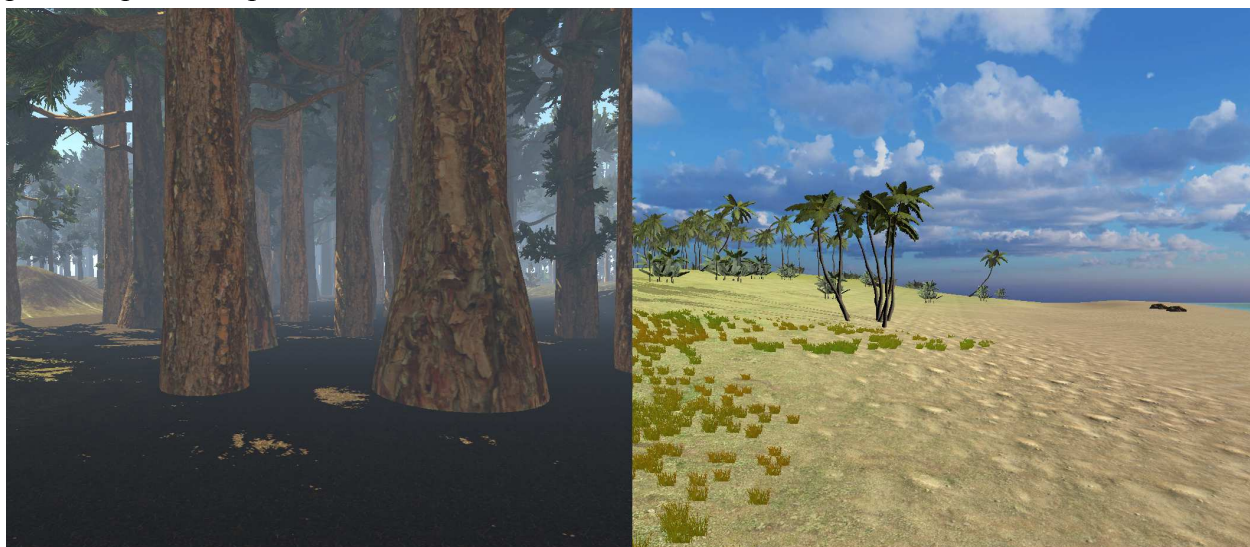


Рис. 1. Виртуальные сцены фитнес-приложения



Рис. 2. Сцена меню

Данные карты представляют собой набор объектов Terrain. Для изменения рельефа и текстурирования использовались встроенные в Unity пакеты Terrain Tools, а наполнение данных сцен объектами (деревьями, животными, травой) реализовано благодаря наборам бесплатных библиотек объектов из Asset Store.

Также была смоделирована сцена меню, где реализован выбор необходимой сцены (рис.2), кнопка подтверждения и экран загрузки.

Маршрут передвижения по сценам реализован с помощью библиотеки PathCreator. В сцене «Лес» пользователь передвигается по замкнутой траектории, а в «Побережье» - по линейной.

Далее был разработан модуль подсчета времени, которое пользователь затратил на передвижение по маршруту.

Интерактивными объектами в сцене являются объекты животных (рис. 3, слева). Их поведение реализовано с помощью паттерна «Состояние» и представляет собой набор нескольких моделей поведения: бег, шаг, прием пищи. Объект животного в каждый момент времени находится в одном состоянии из множества возможных.

Также был реализован объект «Призрак» (рис. 3, справа). В задачи этого модуля входит запись позиций пользователя в сцене в каждый момент времени в текущей попытке и воспроизведение поведения игрока в следующей попытке.

Система данного тренажерного комплекса предполагает интеграцию клиент-серверной архитектуры для получения данных скорости передвижения из беговой дорожки [2].

Структура сервера, находящегося на стороне Unity, включает в себя сокет-слушатель, в область деятельности которого входит прием входящих запросов от дорожки на подключение и регистрацию нового клиента. При регистрации нового клиента создается новый сокет-обработчик, выполняющийся в отдельном потоке. Он реализует прием и распределение входного массива данных в системе тренажерного комплекса. Так же на обработчике лежит обязанность отключения клиента при отсутствии ответа от вызываемого клиента.



Рис. 4. Интерактивные объекты

В результате выполненной работы фитнес-приложение представляет собой виртуальный тренажерный комплекс, позволяющий пользователю быть вовлеченным в спортивную деятельность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Карташов, А. Н., Осьминкин, Г. В. Видеоигры, виртуальная и дополненная реальность в физической культуре и спорте //Проблемы проектирования, применения и безопасности информационных систем в условиях цифровой экономики. – 2020. – С. 305-308.
2. Обухов, А. Д., Архипов, А. Е., Назарова, А. О. Алгоритмы сбора и обработки данных о процессе взаимодействия с виртуальной реальностью //Информатика: проблемы, методы, технологии. – 2021. – С. 123-130.

УДК 004.9

Чеботов Н. А., Обухов А.Д., Иванов М.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: chobotov@bk.ru

ГЕНЕРАЦИЯ ЛАНДШАФТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ШУМА ПЕРЛИНА В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ UNITY

Chebotov N. A., Obukhov A.D., Ivanov M.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: chobotov@bk.ru

LANDSCAPE GENERATION USING THE PERLIN NOISE ALGORITHM IN THE UNITY DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Аннотация: В данной статье описывается процесс генерации ландшафта с применением математического алгоритма шум Перлина в среде разработки Unity. Объясняются основные этапы генерации и параметры, необходимые для корректного отображения ландшафта.

Ключевые слова: Unity, шум Перлина, генерация, ландшафт, процедурная текстура, компьютерная графика.

Abstract: This article describes the process of generating landscape using the Perlin noise mathematical algorithm in the Unity development environment. Explains the main stages of generation and the parameters necessary for the correct display of the landscape.

Keywords: Unity, Perlin noise, generation, terrain, procedural texture, computer graphics.

Под процедурной генерацией понимается использование возможностей вычислительной техники для случайного создания и визуализации реалистично выглядящих объектов. Этими объектами могут быть текстуры, здания, биологические виды, формы ландшафтов отдельных областей или целых планет, сюжеты литературных произведений.

Процедурная генерация находит массу применений в кинематографе, трехмерной графике, компьютерных играх. В современные системы 3D-моделирования включаются средства параметризованной процедурной генерации объектов и текстур. Они позволяют сэкономить время для художника, способствуют быстрой итерации изменений. В кинематографе процедурные системы применяются, например, для создания сцен с большим количеством объектов, ручное моделирование которых оказалось бы нецелесообразно. Компьютерные игры, такие как No Man's Sky и Minecraft, используют методы процедурной генерации ландшафтов для создания уникальных игровых миров.

Процедурная генерация ландшафта делится на несколько этапов и первым этапом является построение базовой формы изображаемой поверхности. Основой для построения базовой формы поверхности может быть сгенерированная текстура шума.

Одним из алгоритмов генерации текстуры является Шум Перлина, предложенный Кеном Перлином в 1983 году. Этот алгоритм генерирует псевдослучайные числа путем интерполяции между единичными векторами, расположенными в некоторых определенных точках. В результате получается непрерывная функция одной, двух, трех или более переменных.

Для того, чтобы сгенерировать полноценную трехмерную локацию в Unity, нужно начать с малого. Для начала нужно реализовать алгоритм Шум Перлина, чтобы сгенерировать массив значений. Для корректной генерации требуется следующий набор данных: ширина карты, высота карты, масштаб, значение для вычисления начального значения последовательности псевдослучайных чисел, октавы, лакунарность, постоянство, сдвиг.

Лакунарность – характеристика, контролирующая изменение высота. Постоянство используется для контроля изменения максимального значения смещения. Октава – частота.

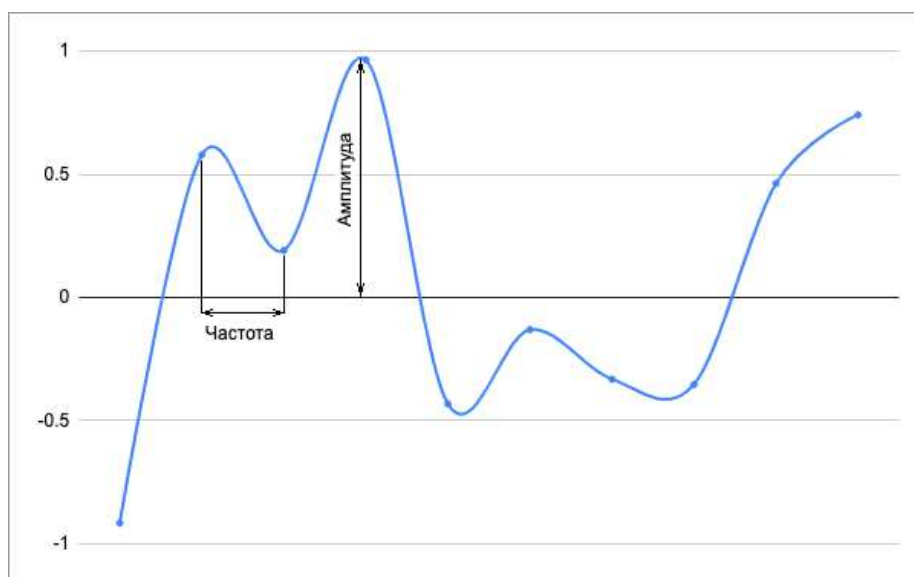


Рис. 1. Обозначение амплитуды и частоты

Для генерации псевдослучайных значений в определенных координатах используется метод, который принадлежит официальной математической библиотеке Unity – Mathf. На вход данного метода задаются координаты по осям X и Y, а возвращает метод дробное значение в промежутке от 0 до 1.0, которое определяет шум в данных координатах.

Основной алгоритм генерации ландшафта, следующий:

- Создать двумерный массив с размерами `mapWidth` и `mapHeight` для хранения значений шума. Где `mapWidth` – ширина ландшафта, а `mapHeight` – высота.
- Создать массив размером заданного количества октав. Данный массив хранит структуры `Vector2`. `Vector2` – структура, которая хранит два дробных значения типа `float`.
- В цикле с границами `[0; octaves]` заполняем массив октав псевдослучайными значениями.
- С использованием двух циклов рассчитываем значение шума в каждой координате. Первый цикл с границами `[0; mapHeight]` и второй цикл с границами от `[0; mapWidth]`.

В ходе работы циклов запоминаем минимальное и максимальное значение шума. Если текущее вычисленное значение больше максимального, значит это значение становится максимальным. То же самое с минимальным значением.

Для создания текстуры в Unity используется класс `Texture2D`, в конструктор которого передаются размеры текстуры. Для того, чтобы текстура имела цвета, требуется создать массив, который хранит значения типа `Color`. Класс `Color` хранит параметры цвета `RGBA`, где `R` – красный цвет, `G` – зеленый цвет, `B` – синий цвет, `A` – альфа-канал, определяющий непрозрачность. Для того, чтобы интенсивность цвета менялась в соответствии со значением шума в каждой координате, используются два метода. `Clamp01(floatvalue)` – используется для того, чтобы ограничить значение шума между 0 и 1. `Lerp(Colora, Colorb, floatvalue)` – используется для линейной интерполяции между цветами `a`, `b` и значения `value`. Оба метода предоставляются в официальной библиотеке Unity. После того, как массив цветов заполнен, задаем этот массив созданной текстуре и сохраняем ее данные.

Для того, чтобы вывести текстуру шума на экран потребуется создать материал, который затем нужно прикрепить к объекту на сцене проекта. В качестве объекта на сцене может использоваться `Plane`. Данный объект является плоскостью. Рендеринг в Unity выполняется с использованием материалов, шейдеров и текстур. Шейдеры — это небольшие скрипты, которые содержат математические вычисления и алгоритмы для вычисления цвета каждого отображаемого пикселя на основе входного освещения и конфигурации материала. Прикрепив созданный материал к плоскости, можно задавать материалу сгенерированную текстуру и тогда текстура будет выводиться на плоскости. Пример вывода текстуры представлен на рис. 2.

Окрашивание полученной текстуры в различные цвета, почти не отличается от раскрашивания текстуры в черно-белые тона. Для начала нужно создать структуру, которая будет хранить имя региона, значение соответствующей высоты в границах `[0; 1]` и сам цвет. Для того, чтобы хранить данные о регионах постоянно и иметь возможность их моментально редактировать, можно использовать `ScriptableObject` ассет. Это файл, который используется в Unity для хранения данных, с доступом к их редактированию.

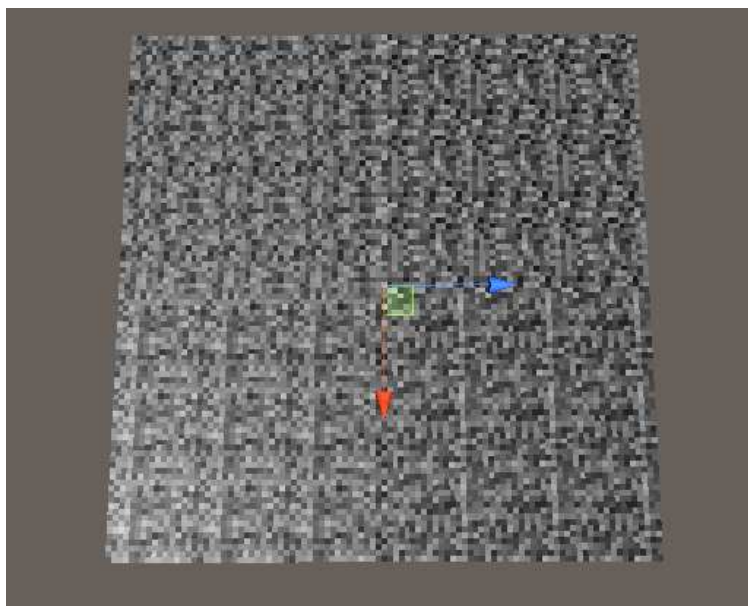


Рис. 2. Сгенерированная текстура шума

Для данной работы было создано 8 регионов:

- Глубокие воды
- Мелководье
- Песок
- Низменность
- Возвышенность
- Холмы
- Горы
- Снег

Для каждого региона были подобраны свои цветовые обозначения и значения шума. После того, как двумерный массив значений шума заполнен, требуется в цикле обратиться к каждой координате и сравнить значение шума с каждым значением из ассета с регионами. Если текущее значение шума меньше или равно какому-либо значению шума региона, то в массив с цветами заносится соответствующий цвет. Затем, как массив с цветами заполнится, можно окрашивать текстуру заданными цветами и выводит текстуру на плоскость. Пример вывода раскрашенной текстуры шума с измененными параметрами генерации представлен на рис. 3.

Для создания полноценной трехмерной модели локации требуется создание полигональной сетки на основе сгенерированного шума. Для создания полигональной сетки требуются: двумерный массив значений шума, значение множителя высоты, график изменения высоты и значение уровня детализации. Меш или полигональная сетка состоит из треугольников, расположенных в трехмерном пространстве так, чтобы создать впечатление замкнутого объекта. Треугольник определяется тремя угловыми точками или вершинами. Треугольников достаточно, чтобы определить основную форму объекта, но в большинстве случаев необходима дополнительная информация для отображения сетки. Чтобы объект был правильно затемнен при освещении, для каждой вершины должен быть указан вектор нормали.



Рис.3. Текстура шума при заданных параметрах

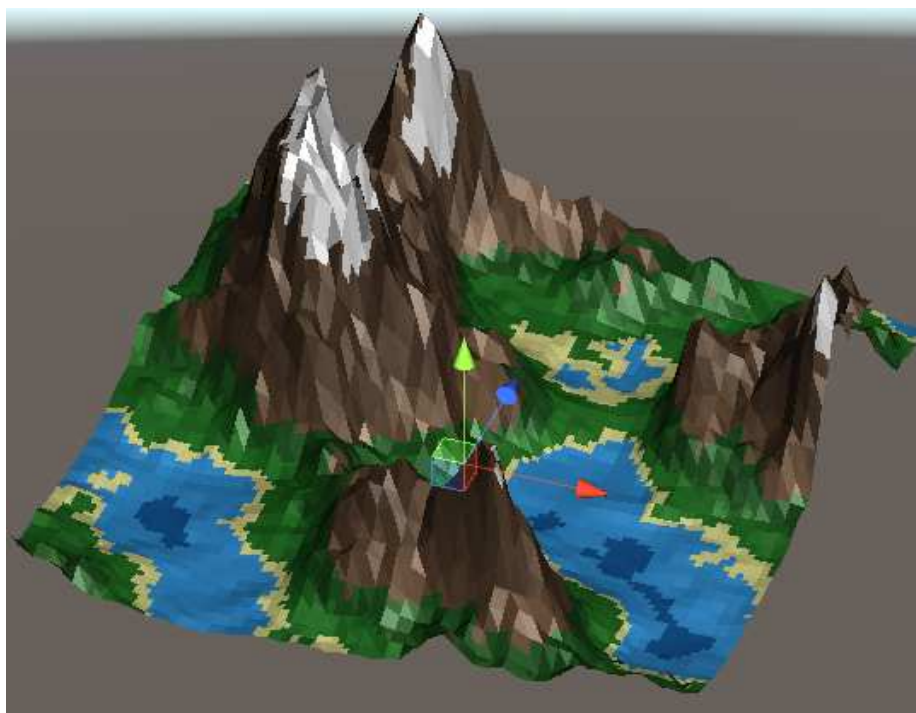


Рис. 4. Плоскость с полигональной сеткой

От уровня детализации зависит количество треугольников сетки. Чем больше треугольник, тем точнее будет выглядеть локация. Однако очень детализированная локация может повлиять на производительность всей программы. Так как максимальное значение шума не может превышать 1, с такой высотой разница высот между регионами будет небольшой, чтобы увеличить эту разницу можно добавить дополнительный параметр генерации – множитель высоты. А график изменения высоты позволяет регулировать то, как будет меняться этот множитель.

После того, как полигональная сетка создана, нужно задать параметры этой сетки для плоскости на сцене. Пример сгенерированного ландшафта представлен на рис. 4.

Таким образом, используя алгоритм Шум Перлина и ранее упомянутые параметры, необходимые для корректной генерации, можно реализовать процедурную генерацию ландшафта в среде разработки Unity.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Unity. Unity Documentation [Электронный ресурс] // URL: <https://docs.unity3d.com/ru/530/Manual>.
2. Habr. Генерация ландшафтов в Unity3d [Электронный ресурс] // URL: <https://habr.com/ru/post/226635/>

УДК 004.9

Евдокимов А.С., Гриднев В.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: alex-evd0kim0v@ yandex.ru,

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЕПОНИРОВАНИЯ КЛЮЧЕЙ ШИФРОВАНИЯ

EvdokimovA.S., GridnevV.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: alex-evd0kim0v@ yandex.ru

VIRTUAL DEPOSIT MODEL ENCRYPTION KEYS

Аннотация: предложено обоснование необходимости применения стойких частных криптосистем с депонированием ключей, приведены актуальные примеры использования таких систем, предложена система депонирования ключей на основе пороговой схемы Шамира.

Ключевые слова: депонирование ключей шифрования, программное обеспечение для депонирования ключей, стойкие частные криптосистемы, шифрование с депонированными ключами, пороговые схемы разделения секрета, пороговая схема Шамира.

Abstract: the substantiation of the need for the use of persistent private cryptosystems with key deposit is proposed, actual examples of the use of such systems are given, a key deposit system based on the Shamir threshold scheme is proposed.

Keywords: deposit of encryption keys, key deposit software, strong private cryptosystems, encryption with deposited keys, threshold secret sharing schemes, Shamir threshold scheme.

В последние годы все большую популярность набирают различные криптовалюты, основанные на системе блокчейна. Криптовалюты, по сути своей, являются децентрализованными. В случае потери доступа к банковскому счёту, пользователь банка пишет запрос в филиал, подтверждает свою личность, после чего, банк восстанавливает доступ. В случае криптовалют, при потере доступа к кошельку, средства, содержащиеся на нем, будут утеряны навсегда. Таким образом, пользователь сам заинтересован в раздельном сохранении теней секрета, чтобы не потерять доступ к криптовалюте, к примеру, при повреждении оборудования, на котором хранится ключ. Пороговая схема разделения секрета Шамира позволит обеспечить безопасное раздельное хранение [1]. Если какой-либо центр хранения потеряет ключ, или будет взломан, это не приведет к негативным последствиям для пользователей. Данная идея может позволить вывести криптовалюты из теневой части рынка, введя их в правовое поле. Необходимо лишь создать соответствующие законы, которые не позволят использовать криптовалюты,

без выдачи теней государственным центрам хранения. Так же, данная схема может использоваться для «холодного» хранения теней на внешних носителях данных, таких как, оптические диски. Это позволит восстановить секрет даже при поломке или утере части накопителей.

Депонирование ключей – это предоставление ключей шифрования или их частей (теней), третьей стороне. В США были попытки депонировать ключ, используемый для шифрования данных, передаваемых по каналам Integrated Services Digital Network, факсам, и любой связи того времени. Для этого был разработан целый стандарт, который называется Escrowed Encryption Standard. Реализованы эти попытки были, при помощи микросхемы Clipper, занимающейся шифрованием, и расшифрованием данных. Так же, агентство национальной безопасности США (NSA) разработало дисциплину раскрытия уникального ключа микросхемы. Микросхема была разработана таким образом, чтобы было невозможно считать с нее данные по каналам побочных электромагнитных излучений и наводок (название технологии – TEMPEST) [4].

Проектируемая система должна иметь как можно большее число ЗЦОДов (защищённых центрах обработки данных) и, соответственно, большее число теней. Схема проектируемой системы представлена на рис. 1.

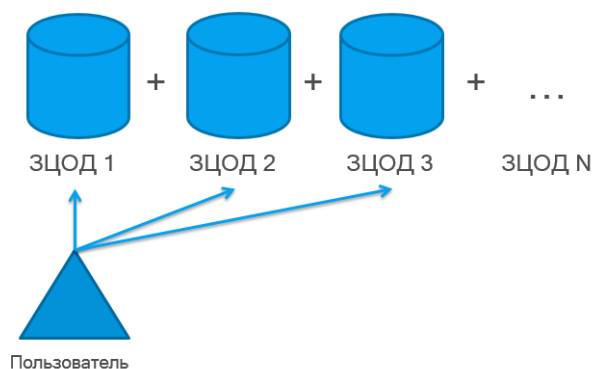


Рис. 1. Схема системы хранения депонированных ключей

Основная идея состоит в том, что в геометрии двумерного пространства, по двум точкам можно построить прямую, по трем параболу, по четырем кубическую параболу, и так далее, повышая степени. Иными словами, для задания степенного многочлена k , требуется число точек, равное $k + 1$.

Для того чтобы восстановить секрет можно было только с помощью нескольких теней n , секрет сворачивают в многочлен степени $n + 1$, над конечным полем G . Таким образом, чтобы восстановить секрет, необходимо будет собрать вместе n членов тайного общества, а значит и, значений многочлена в определенных точках. Если определенное количество теней не сможет собраться в нужном количестве, точек будет недостаточно, и восстановление секрета будет невозможно. В теории, число точек многочлена не ограничено, но ввиду конечности памяти ЭВМ, и разумной достаточности (в нашей организации вряд ли будет большее число членов чем, к примеру, миллион), оно всегда ограничено размерностью поля Галуа порядка G .

Попробуем описать алгоритм более кратко. Допустим, мы имеем поле Галуа G .

Возьмем n случайных элементов данного поля, обладающих свойством дискретности, и не попадающих в ноль [2]. Выберем произвольный набор элементов t , поля Галуа G . Число элементов набора будет необходимым, для восстановления секрета. Именно из этого множества чисел будет составляться искомый пороговый многочлен над полем Галуа, степени $t - 1$, где $1 < t \leq n$.

Допустим, искомый многочлен получен, теперь найдем его значения (x, y) в n точках. Остается лишь распределить полученные значения каждому из членов нашего тайного общества. Заметим, что через две точки всегда можно провести неограниченное число квадратичных парабол (рис. 1). Но, чтобы выбрать из них нужную параболу понадобится третья точка [3]. Восстановление секрета не составит труда, его можно произвести с помощью любой формулы интерполяции, например, при помощи наиболее популярной формулы Ньютона, или Бесселя. Основное достоинство пороговой схемы Шамира – масштабируемость. Если в нашем наборе теней появится новая, то нам будет необходимо добавить новый несекретный элемент к уже созданным ранее несекретным элементам.

Модуль генерации ключа шифрования необходим для создания секретного ключа, который в последствии будет использоваться в криптосистеме, и который необходимо разделить на тени и хранить раздельно доверенными лицами.

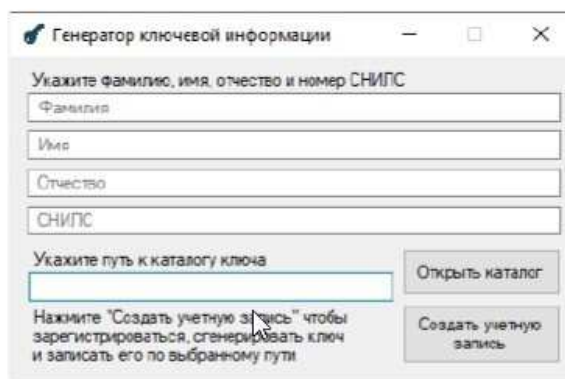


Рис. 2. Окно программы генерации ключа

Для генерации ключа шифрования должен использоваться генератор случайной последовательности, который обеспечивает достаточно сильную непредсказуемость результатов за счет использования нескольких источников шума. Модуль вычисления теней создает 3 тени сгенерированного секретного ключа для последующей их передачи нотариусам и формирует электронную подпись к каждой тени. Модуль восстановления ключа используется, когда нужно восстановить секретный ключ пользователя в случае потери доступа. При этом над любыми двумя из трех теней выполняется преобразование, результатом которого является восстановленный ключ.

Решение проблемы депонирования ключей – сложная задача, потому как, необходимо сохранять секретность данных, что позволяет обеспечить безопасность хранения ключей от криптокошельков. Предложенная система позволяет пользователю безопасно хранить разделённый секрет в разных защищённых центрах обработки данных (ЗЦОД), что позволит восстановить его в случае потери доступа к тени, или в случае

атаки на ЗЦОД.

Рис. 3. Окно программы восстановления ключа при регистрации

Стоит добавить, что весь информационный обмен между субъектами взаимоотношений, приведенных в примерах использования депонирования ключей, может быть реализован в электронном виде, что неизбежно потребует принятия мер по обеспечению безопасности информации, передаваемой по каналам связи. Актуальным остается вопрос защиты целостности и корректности депонируемых теней. Необходимо предусмотреть защиту депонируемых теней от умышленного или случайного искажения, а также возможность обнаружить любого недобросовестного участника схемы. Ведь любой из участников схемы может попытаться помешать успешному восстановлению ключа. Например, пользователь может после депонирования ключа шифрования использовать совсем другой ключ. И когда, после соблюдения всех предусмотренных формальностей, ключ не восстановится, заявить, что он не знает причину, по которой это могло произойти.

Список использованных источников

1. Шнайер, Б. Разделение секрета // Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си = *Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C*. – М.: Триумф, 2002. – С. 93–96. – 816 с.
2. Шнайер, Б. Алгоритмы разделения секрета // Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си = *Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C*. – М.: Триумф, 2002. – С. 588–591. – 816 с.
3. Блэкли, Д., Кабатянский, Г. А. Обобщенные идеальные схемы, разделяющие секрет, и матрицы // Пробл. передачи информ. – 1997. – Т. 33, вып. 3. – С. 102–110.
4. Шенец, Н. Н. Об идеальных модулярных схемах разделения секрета в кольцах многочленов от нескольких переменных // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии: материалы научного конгресса 31 окт.– С. 169–173.

УДК: 621.436.72

Рублёв А. А. Егоров С. Я.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: lescha.rub1993@mail.ru

**АНАЛИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СВАЙНЫХ ДИЗЕЛЬ-МОЛОТОВ
И РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ШТАНГОВОГО
ДИЗЕЛЬ-МОЛОТА ТИПА МСДШ**

Rublev A. A. Egorov S. Ya.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: lescha.rub1993@mail.ru

**ANALYSIS OF COOLING SYSTEMS OF PILE DIESEL HAMMERS AND THE
DEVELOPMENT OF THE ROD AIR COOLING SYSTEM DIESEL HAMMER TYPE
MSDSH**

Аннотация: в работе был проведён анализ средств повышения производительности штангового дизель молота и предложено увеличение производительности путём создания активной системы охлаждения.

Ключевые слова: Система охлаждения, производительность, модернизация, интенсивность, перегрев.

Abstract: the paper analyzes the means of increasing the productivity of a diesel hammer rod and suggests an increase in productivity by creating an active cooling system.

Keywords: Cooling system, performance, modernization, intensity, overheating.

С момента создания первых дизельных молотов и по настоящее время идёт их постоянная модернизация. Т. к. основная принципиальная схема их конструкции не изменялась, то модернизация идёт по пути увеличения таких показателей как надёжность, увеличение автономности, стабильность режима работы. Постоянное наращивание строительного производства требует всё более интенсивной работы дизельных молотов. Классические методы повышения производительности себя практически исчерпали. Производительность молота зависит от двух показателей [1]: энергии единичного удара и частоты ударов в минуту, соответственно существует два основных подхода к повышению производительности молота.

Первый подход заключается в увеличении энергии единичного удара. Энергия единичного удара в дизельных молотах осуществляется увеличением массы ударной части. Шабот передает удар поршня на сваю и является наиболее нагруженной деталью, работающей при значительной температуре. При ударе поршня о шабот топливо распыляется в камере сгорания, а затем воспламеняется от высокого давления смеси. Образующаяся при взрыве энергия отбрасывает поршень вверх, а сваю вгоняет в грунт.

Благодаря распылению топлива ударом дизельные молоты обладают особо большой ударной силой. Благодаря энергии компрессии ударная часть и наголовник прижимаются к верхней части сваи. Следующий за этим удар направлен на вбиваемый материал, а ударная энергия и вслед за этим действующая энергия взрыва вгоняют сваю в грунт [2].

Отсюда следует, что при увеличении массы ударной части также необходимо увеличивать и объем поршня, т. к. при малом объеме поршня взрыв топливной смеси попросту не сможет вытолкнуть ударную часть на необходимую высоту, и молот заглохнет. В свою очередь, при утяжелении ударной части и увеличении объема поршня, необходимо увеличивать так же и общие габариты и массу молота, чтобы увеличить необходимый максимальный вылет груза и общую механическую прочность молота. Таким образом, при увеличении массы и габаритов молота увеличивается мощность молота, но вместе с тем тяжелеет и минимально лёгкая для молота свая. На рис. 1 изображен неполный модельный ряд отечественных молотов штангового типа МСДШ, иллюстрирующий, как вместе с ударной частью увеличивается молот в целом. Таким образом, данный подход решает несколько иную задачу – позволяет погрузить более тяжелые сваи, но не ускоряет процесс массовой забивки.

Второй подход к проблеме увеличения производительности дизельных молотов заключается в увеличении частоты ударов. Увеличить частоту ударов можно путём уменьшения высоты подлёта ударной части. С одной стороны, это привело к созданию гидравлического молота [рис. 2], в котором ударная часть приводится в движение гидравлическим приводом, позволяя оператору регулировать такие показатели как частота ударов, сила удара, высота подлёта ударной части. Соответственно, чем ниже подлёт, тем слабее удар.



Рис. 1. Модельный ряд молотов типа МСДШ



Рис. 2. Гидравлический молот СП-7Г

С другой стороны, даже на гидравлическом молоте такой режим применим в случае слабых грунтов [3]. Дизельный молот является свободнопоршневым двигателем внутреннего сгорания, в котором в момент подлёта ударной части газовая камера открыта окружающей среде, в этот момент происходит удаление выхлопных газов воздушным потоком. Соответственно, при малом подлёте газы выводятся не полностью,

что ухудшает работу дизель молота, а потому попытки увеличить число ударов в минуту являются несостоятельными [4].

Гидравлические молоты несколько уступают в силе удара своим дизельным аналогам. Для дизельных молотов нормальная частота ударов составляет 50-60 ударов в минуту [1]. Из этого следует, что повысить производительность дизельного молота можно так же интенсификацией режима его работы, что, однако, грозит перегревом. При долговременной работе без останова поршневая группа дизельного молота перегревается, отчего происходит опережение подачи топлива и нарушение стабильной работы молота [5]. В ходе неправильной эксплуатации перегрев может возникать систематически, что приводит к резко ускоренному износу поршневых колец, и, в худшем случае, к заклиниванию молота. Из этого следует, что отечественные штанговые молоты нуждаются в разработке активной системы охлаждения.

Трубчатые молоты импортного и отечественного производства (Delmag, МСДТ) используют водяное охлаждение [6]. Авторами предлагается создание активной системы охлаждения для молотов типа МСДШ путём обдува поршневой группы воздушным потоком под давлением. Это должно охладить самый нагруженный в температурном плане элемент молота – поршень. В подтверждение этого в cad-системе T-Flex 15 был произведен температурный анализ поршня (рис 3), условия анализа имитировали безостановочную эксплуатацию в течении нескольких часов. 3d модель поршня, использованная в анализе, имеет упрощенный вид – не имеет фаски под головкой поршня, отсутствуют топливные трубки. Анализ являет собой нестационарную тепловую задачу [7][9]. Широко распространённая модель отечественного штангового СП6-ВМ не имеет активной системы воздушного охлаждения. В то же время, устаревший образец С-222, даже не имел активную систему смазки, представленную плунжерным насосом. В новых моделях штанговых молотов типа СП и МСДШ подобный насос есть. В китайских аналогичных молотах типа DD и HD, проблема также решена.

Без дополнительных внешних источников продувки цилиндра дизель-молота мероприятия по удержания дополнительного воздуха в камере сгорания могут обеспечить максимальное значение коэффициента наполнения 0.54 [11].

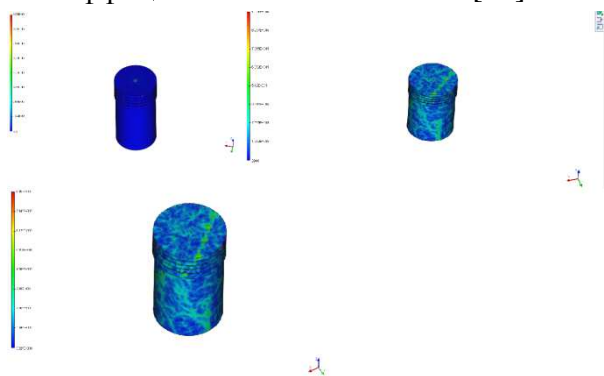


Рис. 3. Прогрев поршня после запуска, через 15 минут, через 2 часа

Из вышесказанного следует, что воздушный поток также должен более эффективно удалять выхлопные газы, и наполнять цилиндр дополнительным чистым воздухом стабилизируя работу молота. Для реализации данной системы предлагается агрегация базовой машины поршневым компрессором, и создание системы подводов воздуха от компрессора к молоту [10].

После нововведения можно считать, что как двигатель внутреннего сгорания штанговый молот переходит из класса двухтактных дизелей в класс двухтактных дизелей с турбонаддувом, отчего изменится коэффициент остаточных газов и формула расчёта КПД соответственно [8].

Выдвигаемое решение должно повысить эффективность штанговых дизель молотов при среднем и жарком климате.

В процессе проектирования данной модификации были решены следующие задачи:

- Произведен тепловой анализ поршня дизель-молота;
- Спроектирована шлицевая втулка, предназначенная для сопряжения валов трактора и компрессора. Для втулки возможно также последующее написание программы, при помощи которой она будет изготовлена на фрезерном станке ЧПУ;
- Спроектирован альтернативный элемент сопряжения – через ременную передачу;
- Спроектирован станок, на котором размещается компрессор. Размещения станка на месте стандартной рамы тягово-сцепного устройства трактора;
- Спроектирован путь прокладки и крепежи патрубка компрессора;

При решении задач было использовано следующее ПО – T-Flex 15, SolidWorks 2012, PTC Mathcad Prime 4.0.

Данная модификация возможна на тракторе Т-130, Т-170 и более новых модификациях.

Список использованных источников

1. Лобанов, И.Е. Общее аналитическое исследование основных конструкций современных свайных дизель-молотов молотов трубчатого типа / Лобанов И.Е. //СтройМного,2018.№1(10).URL:<http://stroymnogo.com/science/economy-science/>.
2. Будилов, И.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции сваебойного трубчатого дизель-молота / И.Н. Будилов, Б.И. Гурьев, Л.С. Кутушева // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2008. – Т. 11. — № 2. — С. 90—96.
3. Друккер, Д. Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование /Д. Друккер, В. Прагер // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 2. Определяющие законы механики грунтов. –М.: Мир, 1975.– С. 166-177.
4. Семенчук, М.И. Разработка математических моделей свободнопоршневых двигателей внутреннего сгорания и исследование их функционирования на примере дизель-молотов. / М.И. Семенчук //Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Тула, 1997. – С. 16 .
5. Доценко, А.И. Повышение эффективности использования дизель-молотов трубчатого типа в условиях жаркого климата / А.И. Доценко, Д.А. Максимов, И.Е. Лобанов

// Материалы научно-технической конференции факультета Механизации и автоматизации, посвященной 65-летию МГАКХиС (ВЗИСИ). - М.: МГАКХиС, 2010. – С. 51-54.

6. Jing Dong. Natural cooling air conditioning systems, applications in building energy saving // Building Science. —2004, 20(4): –Р. 58-60.

7. Вороненко, Б. А. Аналитическое описание процесса нестационарной теплопроводности / Б.А. Вороненко, А.Г. Крысин, В.В. Пеленко, О.А. Цуранов //Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. С. 3-15.

8. Вершина, Г. А. Тепловой и динамический расчет двигателей внутреннего сгорания / Г. А. Вершина, Г. М. Кухарёнок, А. Ю. Пилатов. // учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» – Минск : БНТУ, 2 С. – 9 – 28.

9. Воинов, А. Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях/ Воинов А. Н.// Москва *Машиностроение* 1977. С – 165-196.

10. Фотин, Б. С. Поршневые компрессоры / Б. С. Фотин, И. Б. Пирумов, И. К. Прилуцкий, П. И. Пластинин // Ленинград „Машиностроение" ленинградское отделение 1987. С. – 106-112.

11. Рудой, И.Б. Имитационное моделирование рабочего процесса штангового дизель-молота / И.Б. Рудой, М.М. Юдаев // Ползуновский вестник. – 2006. – № 4-1. – С. 157–160.

УДК 681.5.08

Селиванова З.М., Скоморохов К.В., Боровкова Е.И.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: selivanova_zm@mail.ru,

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ
ВЛАЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Selivanova Z.M., Skomorokhov K.V., Borovkova E.I.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: selivanova_zm@mail.ru

**SIMULATION OF THERMAL MEASUREMENTS IN CONTROL OF HUMIDITY
OF BUILDING MATERIALS UNDER UNCERTAINTY**

Аннотация: представлена модель создания измерительной ситуации в условиях неопределенности в виде графа, позволяющая выбирать вариант ситуации в зависимости от диапазона теплопроводности строительных материалов при реализации модели в интеллектуальной информационно-измерительной системе; на основе экспериментальных данных получены аппроксимирующие зависимости теплопроводности строительных материалов от влажности окружающей среды, используемые в базе знаний системы для коррекции результатов измерения теплопроводности материалов.

Ключевые слова: неопределенность измерений, измерительная ситуация, моделирование теплофизических измерений, влажность строительных материалов.

Abstract: a model of creating a measuring situation in conditions of uncertainty in the form of a graph is presented, which allows you to choose a variant of the situation depending on the range of thermal conductivity of building materials when implementing the model in an intelligent information-measuring system; On the basis of experimental data, approximating dependences of the thermal conductivity of building materials on the ambient humidity were obtained, which are used in the knowledge base of the system to correct the results of measuring the thermal conductivity of materials.

Keywords: measurement uncertainty, measurement situation, simulation of thermophysical measurements, moisture content of building materials.

Повышение цен на энергоносители при эксплуатации зданий и сооружений связано с контролем теплопроводности строительных материалов с учетом их влажности. В связи с этим важным и актуальным является повышение качества применяемых при строительстве материалов и, следовательно, точности неразрушающего контроля теплопроводности в условиях неопределенности. На предприятиях по изготовлению

строительных материалов в реальных производственных условиях значительное воздействие оказывают климатические факторы, основным из которых является влажность окружающей среды.

Контроль теплопроводности строительных материалов с учетом влажности осуществляется интеллектуальной информационно-измерительной системой (ИИИС). Измерительная система реализована на основе следующих структурных компонентов: цифрового измерительного канала, включающего интеллектуальный измерительный зонд с блоком формирования тепловых воздействий; микроконтроллера, а также включает базу знаний, блок принятия решений, подсистему допускового контроля. При проведении теплофизических измерений ИИИС с использованием информации базы знаний реализует интеллектуальную процедуру выбора измерительной ситуации в условиях неопределенности в соответствии с диапазоном теплопроводности строительного материала [1-2].

Постановка задачи создания измерительной ситуации в ИИИС.

Заданы: множество видов исследуемых строительных материалов различных диапазонов теплопроводности $U_{ИМ}$; множество измерительных ситуаций $U_{ИС}$; множество режимных параметров проведения теплофизических измерений $U_{РП}$; множество методов контроля теплопроводности материалов $U_{МК}$; информация о климатических факторах; требования к результатам выбора измерительной ситуации с адаптацией к диапазону теплопроводности исследуемых материалов.

Необходимо определить наиболее адекватную измерительную ситуацию для соответствующего диапазона теплопроводности строительных материалов.

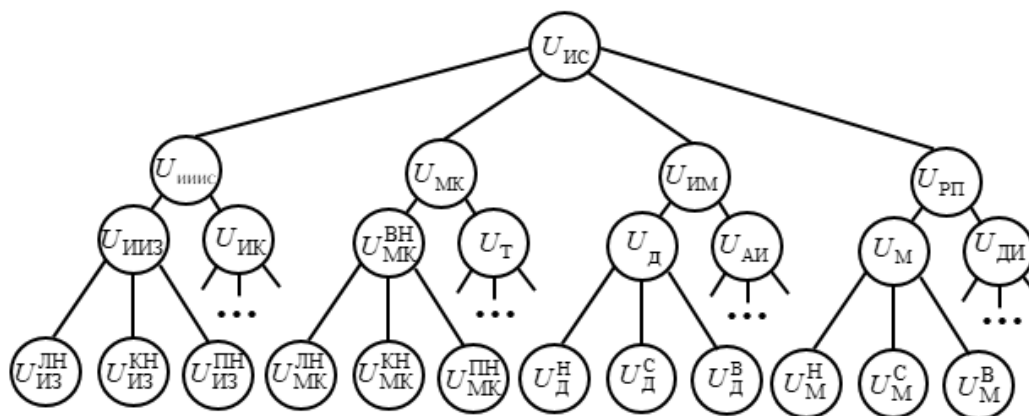


Рис. 1. Структура модели измерительной ситуации в виде графа

Предложена модель формирования измерительной ситуации при проведении теплофизических измерений в условиях неопределенности, которая представлена в виде графа (рис. 1). На рис.1 и в выражении (1) приведены следующие обозначения: ИС – измерительная ситуация; ИК – измерительный канал; ЛН, КН, ПН– линейный, круглый и плоский нагреватели, соответственно, измерительного зонда (ИЗ); МК – метод контроля; ИМ – исследуемый материал; РП – режимный параметр; д – диапазон теплопро-

водности материалов; н, с, в – низкая, средняя, высокая теплопроводность, соответственно; м – мощность теплового воздействия; ИИЗ – интеллектуальный измерительный зонд; ВН – вид нагревателя; т – теория; АИ априорная информация; ДИ – длительность импульсов.

Структура модели в виде графа позволяет выбрать измерительную ситуацию в условиях неопределенности в зависимости от диапазона теплопроводности строительных материалов: низкий, средний, высокий. Например, для теплоизоляционных материалов низкой теплопроводности для ИИИС с использованием графовой модели формируется следующее описание измерительной ситуации, соответствующее вершинам графа на нижнем уровне:

$$\langle (U_{\text{ИЗ}}^{\text{ЛН}}, U_{\text{ИК}} \dots), (U_{\text{МК}}^{\text{ЛН}}, U_{\text{Т}} \dots), (U_{\text{Д}}^{\text{Н}}, U_{\text{АИ}} \dots), (U_{\text{М}}^{\text{Н}}, U_{\text{ДИ}} \dots) \rangle. \quad (1)$$

Выполнены экспериментальные исследования по определению теплопроводности строительных материалов с учетом их влажности с использованием ИИИС. На рис. 2а(для войлока) и 2б (для рипора) приведены графики зависимостей теплопроводности от влажности $\lambda = f(W)$ и соответствующие им аппроксимирующие функции $\tilde{\lambda} = F(W)$.

Аппроксимирующие функции для графических зависимостей $\lambda = f(W)$, соответственно, для материалов войлок и рипор имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda} = F(W) &= 3,08 \cdot 10^{-6} W^3 - 2,027 \cdot 10^{-4} W^2 + 0,0045 W + 0,08; \\ \tilde{\lambda} = F(W) &= 3,42 \cdot 10^{-7} W^3 - 2,76 \cdot 10^{-5} W^2 + 7,80 \cdot 10^{-4} W + 0,027. \end{aligned}$$

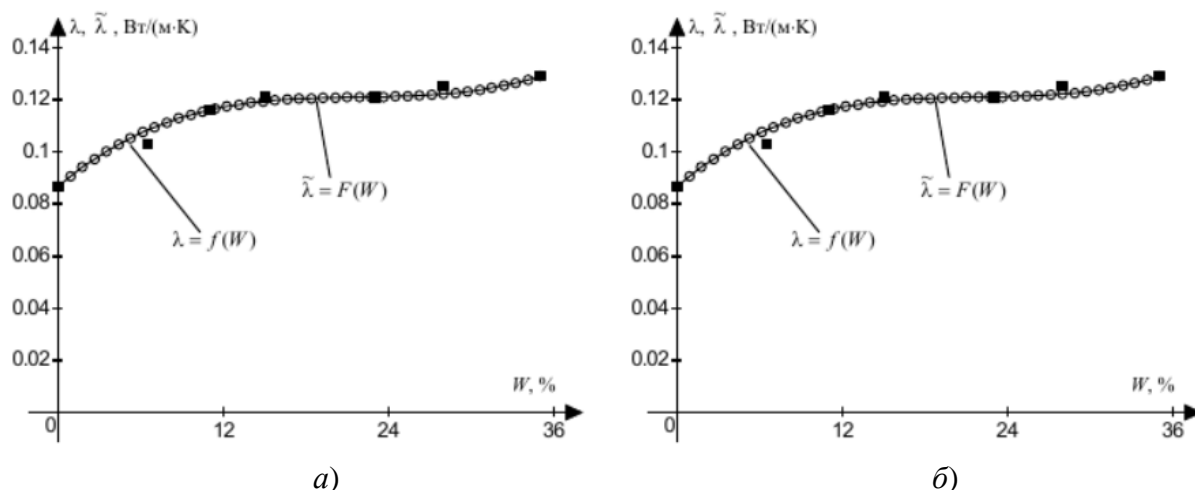


Рис. 2. Графики зависимости теплопроводности от влажности $\lambda = f(W)$ и соответствующие им аппроксимирующие функции $\tilde{\lambda} = F(W)$: а– для войлока, б– для рипора

Полученная измерительная информация о влажности материалов передается в процессе экспериментов в базу знаний ИИИС и далее используется для коррекции результатов измерения теплопроводности строительных материалов в условиях неопределенности. С помощью системы допускового контроля ИИИС устанавливается соответ-

вие измеренных значений теплопроводности материалов с учетом их влажности интервалам допустимых значений для различных диапазонов теплопроводности, установленных соответствующими ГОСТами для строительных материалов, что позволяет повысить точность контроля теплопроводности и способствует повышению качества выпускаемых на предприятии строительных материалов.

Список использованных источников

1. Селиванова, З.М. Моделирование измерительной ситуации в интеллектуальной информационно-измерительной системе при определении теплофизических свойств материалов / З.М. Селиванова, К.В. Скоморохов, Беляев В.П. // Проблемы машиноведения.–г. Омск, 16-17 марта 2021 года // MechanicalScienceandTechnologyUpdate" (MSTU-2021). Journal of Physics: ConferenceSeriesIOPPublishing 1901 (2021) 012023.doi:10.1088/1742-6596/1901/1/012023.

2. Селиванова, З.М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З.М. Селиванова, Д.С. Куренков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1 . – С. 6-19. DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.006-019.

УДК 536.2

Воеводкин С.А.¹, Дурнов А.А.², Балашов А.А.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: voevodkin1998@mail.ru;

²e-mail: dontpobeda@yandex.ru;

³e-mail: balashovalexey@yandex.ru.

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЫ

Voevodkin S.A.¹, Durnov A.A.², Balashov A.A.³

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: voevodkin1998@mail.ru;

²e-mail: dontpobeda@yandex.ru;

³e-mail: balashovalexey@yandex.ru.

VIRTUAL MODEL OF HEAT TRANSFER PROCESS RESEARCH WITH FREE CONVECTION FROM A HORIZONTAL PIPE

Аннотация: Эта статья посвящена созданию виртуальной модели для исследования процесса теплоотдачи при свободной конвекции от горизонтальной трубы в программе Elcut.

Ключевые слова: виртуальная модель, коэффициент теплоотдачи, свободная конвекция, температура.

Abstract. This article is devoted to the creation of a virtual model for the study of the heat transfer process with free convection from a horizontal pipe in the Elcut program.

Keywords: virtual model, heat transfer coefficient, free convection, temperature.

С целью повышения точности проведения эксперимента при определении коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции, было осуществлено виртуальное моделирование физической схемы установки.

Физическая схема установки приведена на рис. 1.

Для начала моделирования выстраиваем геометрию задачи, исходя из размеров установки в программе Elcut[1]. Следует отметить, что модель задаётся симметричной относительно вертикальной оси. Диаметр наружной трубы 25 мм, толщина стенок 1 мм, диаметр внутренней трубы 18 мм, толщина стенок внутренней трубы 1 мм. Длина труб 1020 мм. Трубы изготовлены из меди. С двух сторон, для снижения влияния концевых эффектов установлены заглушки из текстолита, длиной по 30 мм, см. рис. 2.

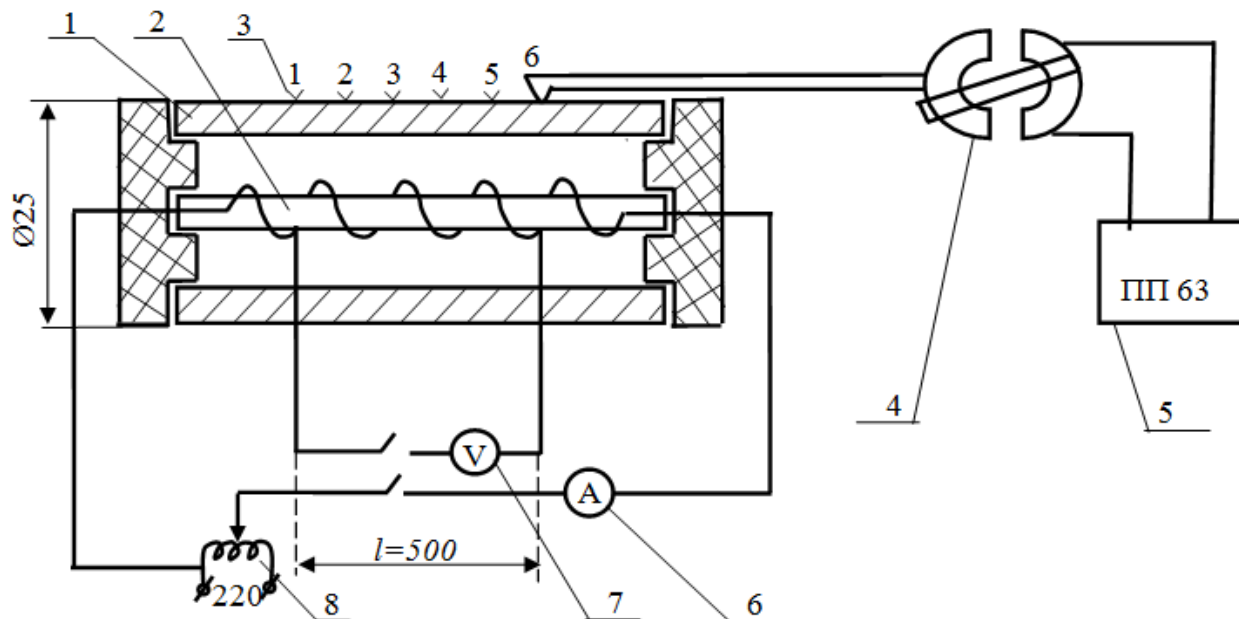


Рис 1. Физическая схема установки

1 – горизонтальная труба, 2 – нагреватель, 3 – шесть термопар медь-констант (МК) на расчётном участке, 4 – переключатель термопар, 5 – потенциометр, 6 – амперметр, 7 – вольтметр, 8 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР).

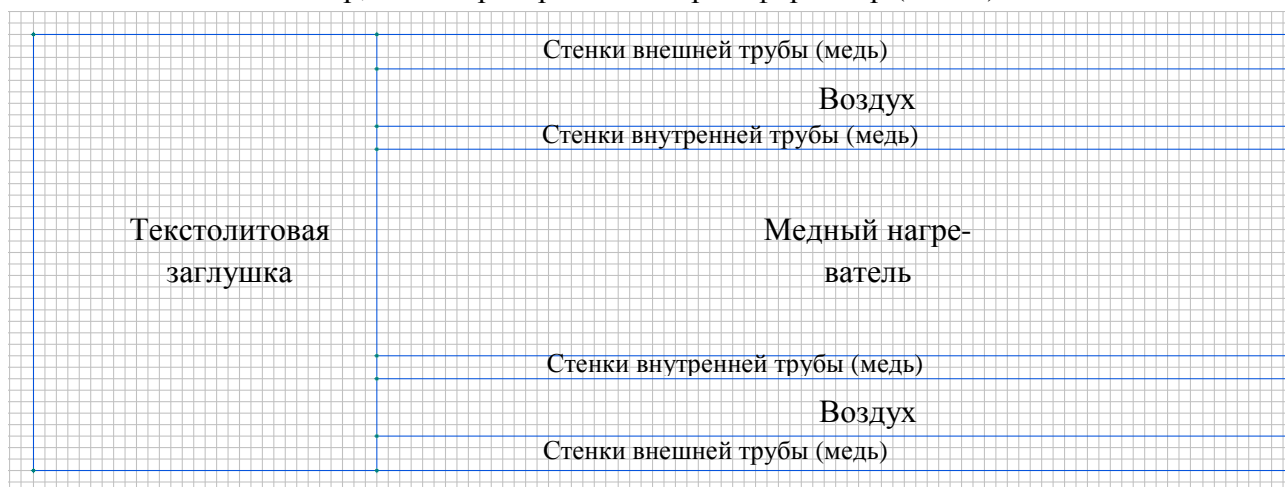


Рис 2. Построение геометрии задачи

Создав модель (рис. 3) и решив её, программа Elcut выводит нам информацию о распределении температуры внутри модели (рис. 4).

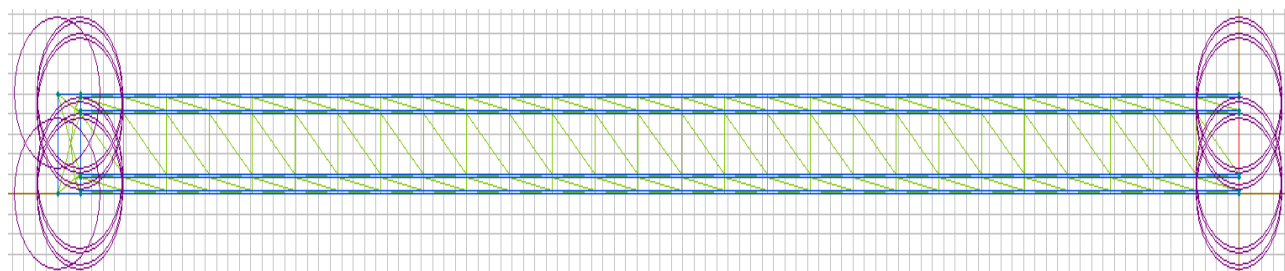


Рис.3 Распределение сетки конечных элементов

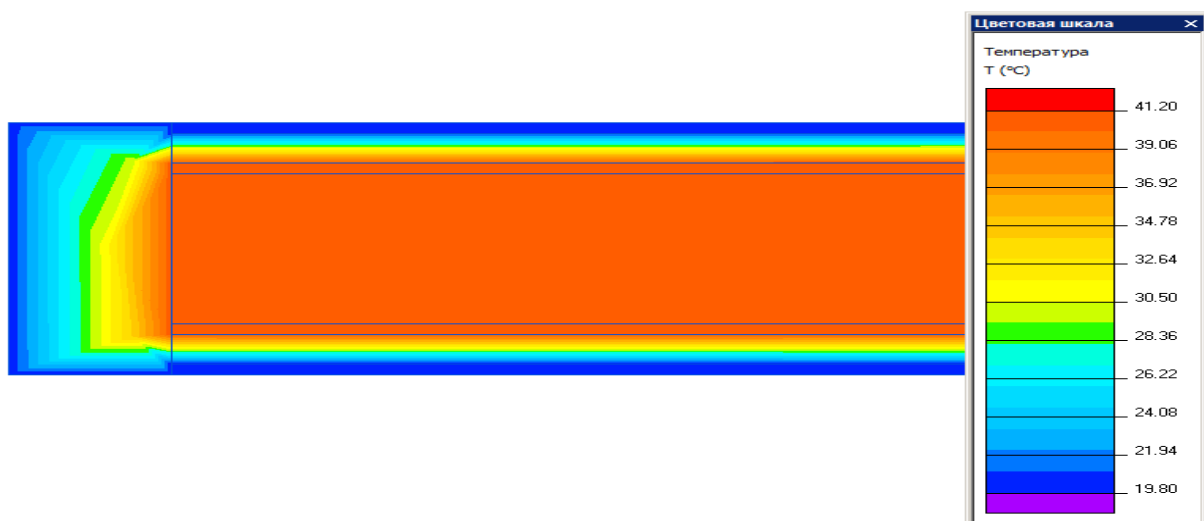


Рис.4 Распределение температуры при заданных граничных условиях

Таким образом, создание виртуальной модели даёт наглядное представление о распределении тепловой энергии внутри установки, а также информацию о температуре в любой точке. Задаваясь необходимой мощностью теплового потока, мы исследовали процессы, происходящие в установке, что позволяет, в перспективе, быстрее и точнее разработать комплекс мер по повышению точности измерения коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции от горизонтальной трубы.

Список использованных источников

1. ELCUT: Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 6.5. Руководство пользователя. – URL: https://elcut.ru/downloads/manual_r.pdf (дата обращения 10.06.2021).

УДК 621.9.06

Фидаров В.Х.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: fidval@mail.ru

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОПИРОВАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА

Fidarov V.Kh.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: fidval@mail.ru

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE COPY SYSTEM OF THE LATHE

Аннотация: Составлена принципиальная схема копировальной системы с электромагнитными муфтами токарного станка, выявлены характеристики составляющих элементов копировальной системы и разработана её структурная схема как системы автоматического регулирования с целью дальнейшего исследования её устойчивости и точности.

Ключевые слова; токарный станок, копирование, электромагнитная муфта, система автоматического регулирования.

Abstract: A schematic diagram of a copying system with electromagnetic couplings of a lathe is compiled, the characteristics of the constituent elements of the copying system are revealed and its structural scheme as an automatic control system is developed in order to further study its stability and accuracy.

Keywords; lathe, copying, electromagnetic coupling, automatic control system.

Существующие копировальные системы с электромагнитными муфтами (ЭМ) станков имеют низкую производительность при обеспечении требуемой точности обработки или же неудовлетворительную точность при приемлемой производительности. Поэтому повышение точности обработки и производительности копировальной обработки станков с электромагнитными муфтами является актуальной задачей для машиностроения.

Точность и производительность копировальной обработки зависят от свойств элементов из которых состоит копировальная система станка [1].

Цель работы: выявить характеристики элементов копировальной системы станка, влияющих на точность и производительность обработки, разработать структуру станка как системы автоматического регулирования для последующего анализа и оптимизации параметров копировальной системы методами теории автоматического регулирования с целью повышения точности и производительности обработки.

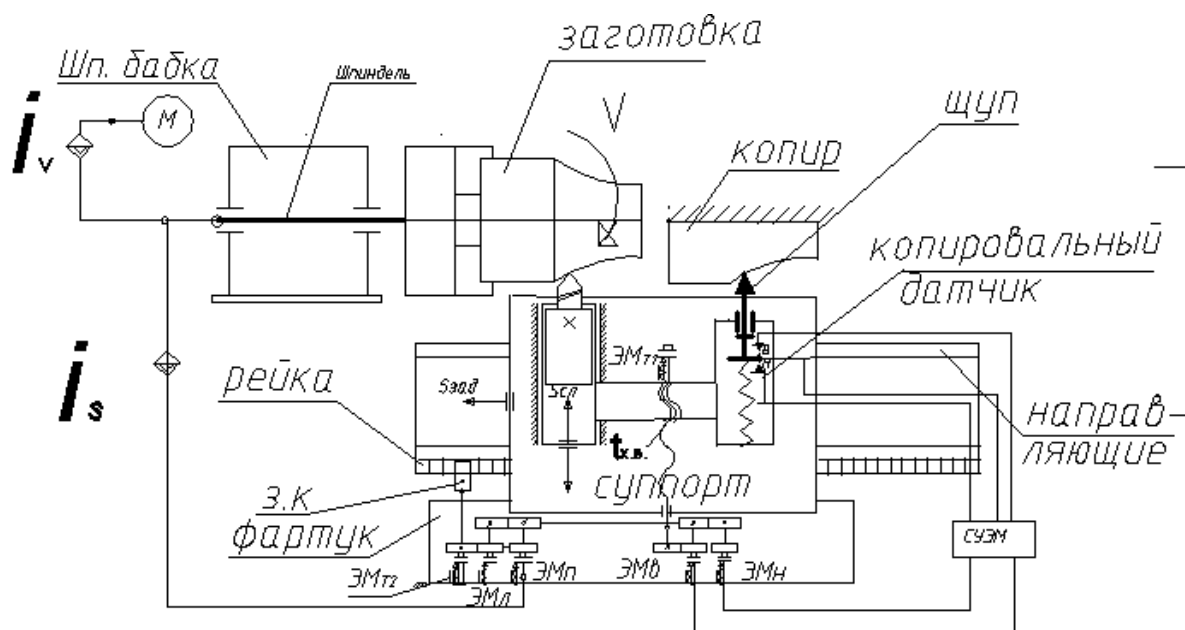


Рис. 1. Принципиальная схема токарно- копировального станка

На рис. 1 представлена принципиальная схема станка состоящая из электродвигателя М, механических передач от электродвигателя до суппорта, электромагнитных муфт ЭМ, контактного копировального датчика, копира и станции управления ЭМ.

Характеристики элементов копировальной системы станка.

Электродвигатель. В токарных станках средних размеров приводным двигателем для цепи подач, как правило, является электродвигатель главного привода, мощность которого более чем на порядок превосходит мощность привода подач. Поэтому влиянием колебаний нагрузки в приводе подач на частоту вращения вала электродвигателя можно пренебречь и считать ее постоянной $\Omega_0 = \omega_0 = \text{const}$.

Механическая передача состоит из валов, зубчатых и червячной передач, передачи «винт-гайка», реечной передачи, опор качения, направляющих скольжения, суппорта и каретки (исполнительных органов). Все эти звенья обладают упругостью (податливостью), демпфирующими свойствами (как и стыки соединений между ними) и массой. Кроме того, в выходных звеньях в передаче «винт-гайка» и направляющих скольжения имеются значительные моменты трения с нелинейной характеристикой. Вращающиеся детали привода можно рассматривать как элементы с сосредоточенной массой, а участки соединений между ними как элементы, обладающие податливостью и демпфирующими свойствами [2].

Вследствие этого механическая передача привода подач рассматривается как динамическая крутильно-колебательная система со многими степенями свободы.

Для упрощения расчетной схемы все элементы кинематической цепи привода следует привести известными способами [2] к одному валу.

Такая динамическая расчетная схема механической части следящего привода с электромагнитными муфтами изображена на рис. 2.

Рис. 2а соответствует состоянию системы, когда скорость ведущей части муфты $\dot{\varphi}_k$ не равна скорости ведомой части: $\dot{\varphi}_{k+1}$, т.е. скользят диски муфты (этап 1); рис. 2б – когда $\dot{\varphi}_k = \dot{\varphi}_{k+1}$, муфта включена (этап 2).

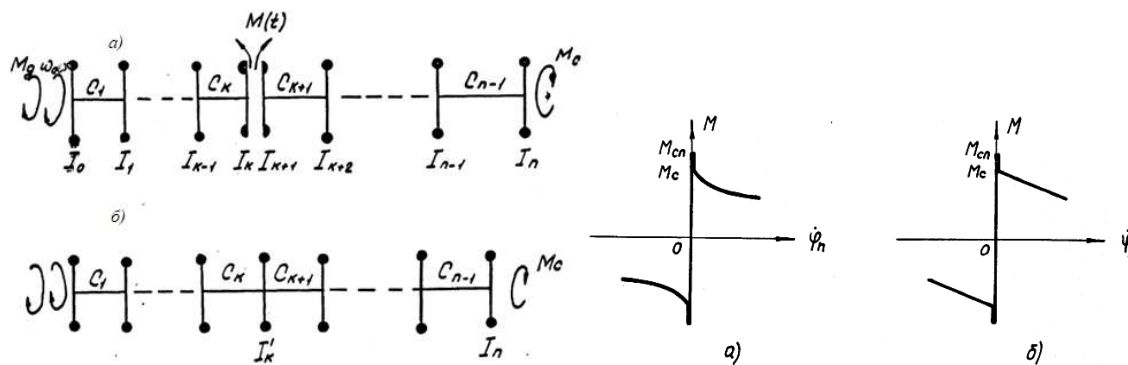


Рис. 2. Динамическая модель привода Рис. 3. Характеристики трения в направляющих

Обозначения на рис. 2: I_i – приведенные моменты инерции вращающихся деталей привода; C_i – приведенные жесткости упругих элементов механической передачи; M_0 – момент электродвигателя; $M(t)$ – момент ведущей муфты в переходном процессе, т.е. при скольжении в дисках; M_c – момент сил сопротивления; $i = 0, 1, \dots, n$; $I'_k = I_k + I_{k+1}$.

Момент сил трения. В приводах подач металлорежущих станков значительные силы трения возникают в передаче «винт-гайка» и в направляющих скольжения, работающих в условиях смешанного трения. В направляющих скольжения при переходе из состояния покоя в движение приведенный к валу предельный момент сил трения покоя $M_{п}$ скачком изменяется до момента сил сопротивления движению и с ростом скорости скольжения уменьшается по нелинейному закону - рис.3 а. Учет нелинейной зависимости момента сил трения от скорости связан с большими трудностями и ее удобно заменить обратно-пропорциональной зависимостью (на рис. 3б – прямая линия), а в расчетах представить как разность постоянной составляющей момента сил трения M_c и падающей характеристики по скорости с коэффициентом пропорциональности $\lambda_{т}$, т.е. $M_{тр}(\dot{\varphi}_k) = M_c \cdot \text{sign} \dot{\varphi}_k - \lambda_{т} \cdot \dot{\varphi}_k$, где $\dot{\varphi}_k$ – скорость суппорта (ИО), приведенная к вращательному движению. Таким образом для момента сил трения можно записать $M_{тр}(\dot{\varphi}_k) = 0 \div M_{сп}$ при $\dot{\varphi}_k = 0$;

$$M_{ТР}(\dot{\varphi}_k) = M_c \cdot \text{sign} \dot{\varphi}_k - \lambda_{т} \cdot \dot{\varphi}_k \text{ при } \dot{\varphi}_k \neq 0 .$$

Электромагнитные муфты. Передаваемый муфтой момент при включении

$$M(t) = M_H \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right),$$

$$\text{при отключении } M_0(t) = \left\{ \begin{array}{l} M_H \left(1 - 1,58 \frac{\sqrt{t}}{T} \right), \text{ при } M_0(t) > (0,3 - 0,4)M_H \\ 0,8M_H \cdot e^{-\frac{2t}{T_э}}, \text{ при } M_0(t) < (0,3 - 0,4)M_H \end{array} \right\}$$

где T - результирующая механическая постоянная муфты при включении, M_H - номинальный вращающий момент муфты, $T_э$ - эквивалентная постоянная времени; τ - параметр быстрогодействия.

Контактный датчик. При работе одной пары контактов датчик можно считать релейным элементом, имеющим однозначную несимметричную Z – образную характеристику – рис. 4а.

$$F(\delta) = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ при } \delta > 0 \\ 0 \text{ при } \delta < 0 \end{array} \right\}.$$

При переключении направления следящей подачи датчик имеет симметричную релейную характеристику с зоной нечувствительности « δ » - рис. 4б.

$$F(\delta) = \left\{ \begin{array}{l} -1 \text{ при } \delta < -b \\ 0 \text{ при } -b < \delta < +b \\ 1 \text{ при } \delta > b \end{array} \right\}$$

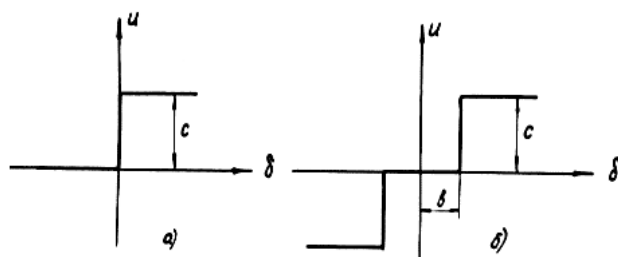


Рис. 4. Характеристика контактного датчика: а) при работе одной и б) двух пар контактов.

Рассеяние энергии колебаний (демпфирование) в механической системе привода пропорционально скорости движения и учитывается коэффициентом λ .

Работа системы при копировании будет происходить следующем порядке.

Задающая подача включена все время и перемещает суппорт с резцом (исполнительный орган – ИО) вдоль копира с постоянной скоростью $V_x = S_{зад}$ (рис. 1). При возникновении рассогласования δ между профилем копира и траекторией движения резца, щуп датчика отклоняется, замыкает контакты и датчик выдает сигнал на включение следящей подачи. Сигнал усиливается, поступает в ЭМ, муфта срабатывает, соединяет ведомую часть привода с вращающейся ведущей и включается следящая подача, устраняя рассогласование. При $\delta < 0$ контакты датчика размыкаются, сигнал управления скачком изменяется до нуля, муфта отключается, разъединяет ведомую и ведущую части привода и отключается следящая подача. При включении и отключении муфты изменяется структура привода, т.к. при этом к ведомой части привода присоединяется или отсоединяется ведущая часть, т.е. привод является звеном с переменной структурой. Таким образом, в системе имеется три нелинейных элемента – датчик, электромагнитная

муфта, нелинейное трение с падающей характеристикой по скорости. В связи с этим следящая система с ЭМ относится к классу нелинейных, а именно - релейных.

Исходя из принципа работы следящей системы токарно-копировального станка и выявленных характеристик отдельных ее элементов функциональную схему системы можно представить в виде, изображенном на рис. 5а.

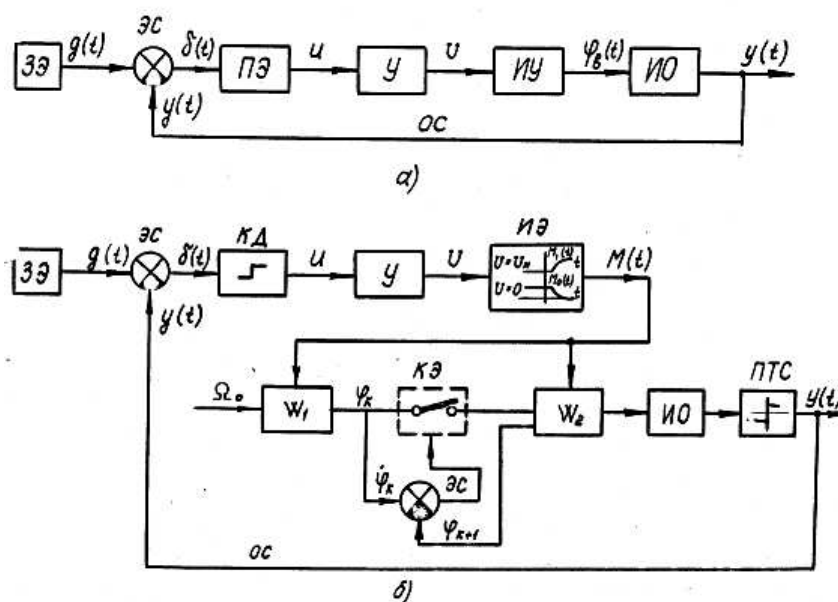


Рисунок 5. Функциональная а) и структурная б) схемы копировальной системы.

Структурная схема системы, составленная для случая обхода контура при копировании по диагональной схеме (в этом случае программу обработки можно задать временной функцией – $g(t)$) при работе без тормозной муфты представлена на рис. 5б.

При определенной величине рассогласования $\delta(t)$ релейный элемент КД (контактный датчик) преобразует ее в сигнал управления исполнительным элементом ИЭ (электромагнитной муфтой).

После усиления сигнал управления U (напряжения источника питания) поступает в муфту, выходной величиной для которой является изменение момента в функцию времени – $M(t)$. Причем характеристики изменения момента муфты при включении и отключении будут отличаться, что и изображено в элементе ИЭ на рис. 5 б. Согласно динамической модели привода (рис. 2) момент муфты на этапе 1 (при скольжении дисков в переходном процессе) воздействует как на ведущую часть, для которой является моментом нагрузки, так и на ведомую часть, для которой является движущим моментом.

Таким образом на этапе 1 движение ИО, представленного на модели в виде инерционного элемента I_n , происходит под действием развиваемого муфтой момента. Затем, на этапе 2, когда скорости ведомой и ведущей частей муфты синхронизируются (муфта сцепится), движение ИО будет определяться скоростью двигателя $\Omega_0 = \omega_0$.

Это обстоятельство на структурной схеме отражено в виде элемента ЭС, где происходит измерение скоростей ведущей $\dot{\varphi}_k$ и ведомой $\dot{\varphi}_{k+1}$ частей муфты и при их равенстве подается команда на коммутирующий элемент КЭ, который осуществляет переключение с одного закона управления движением ИО на другой.

Колебательные системы ведущей и ведомой частей привода представлены как звенья с передаточными функциями W_1 и W_2 . Двигатель изображен как внешний источник энергии в виде постоянной скорости вращения ротора Ω_0 , которая является входным воздействием для звена W_1 .

Как видно из структурной схемы (рис. 5б) система копирования с ЭМ является сложной релейной следящей системой программного регулирования с четырьмя нелинейностями – контактный датчик, электромагнитная муфта, трение в направляющих и переменность структуры привода. В теории автоматического регулирования из нелинейных систем наиболее изучены релейные, однако наличие нескольких нелинейностей делает рассматриваемую систему более сложной.

Расчет таких систем приближенными методами теории автоматического регулирования, например, методом гармонической линеаризации, вызывает определенные трудности. Кроме того, недостатком приближенных методов является невозможность во многих случаях предсказать или оценить величину получаемой погрешности (а нас именно эта погрешность и интересует). С другой стороны, достоинством точных аналитических методов является безусловная верность и точность получаемого общего решения задач, соответствующего характеристикам изучаемых математических моделей.

Поэтому для расчета следящей системы рекомендуется один из точных методов расчета - метод припасовывания или метод фазовой плоскости.

Список использованных источников

1. Фидаров, В.Х. Анализ погрешностей обработки на токарно- копировальном станке, оснащенном следящей системой с электромагнитными муфтами. Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества : сборник докладов Междунар. научно-практич. конф. – В 4 т. / под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н.С. Попова ; Тамб. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2013. – Т. 4. - С.292-300.
2. Ривин, Е.И. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1966. - 201 с.

УДК 621.396.43

Ягодницен П.В.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: lopevskiy@gmail.com,

**ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И
ПРОТОТИПИРОВАНИЕ РОСТЕРОВ ДЛЯ ОБЖАРКИ КОФЕ**

Yagodnitsen P.V.

¹ Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: lopevskiy@gmail.com

**VIRTUAL MODELING, VISUALIZATION AND PROTOTYPING OF
ROASTERS FOR ROASTING COFFEE**

Аннотация. В данной статье мы рассмотрим прототипы ростеров, сравним визуальные отличия от предыдущих видов обжарки кофе, и попробуем спрогнозировать в какую сторону будет развиваться индустрия. Целью данного исследования является изучение моделей первых прототипов оборудования для обжарки кофе, и анализ каким образом они эволюционировали и какой вклад внесли в первые прототипы современных ростеров

Ключевые слова: Кофе, обжарка, прототип, визуализация, роoster

Abstract. In this article, we will look at prototypes of roasters, comparable visual differences from previous types of coffee roasting, and try to predict in which direction the industry will develop. The aim of this study is to study the models of the first prototypes of coffee roasting equipment, and analyze how they evolved and how they contributed to the first prototypes of modern roasters.

Keywords: Coffee, roasting, prototype, rendering, roster

Сегодня обжарка кофе — это автоматизированный процесс. В работе современных ростеров все реакции под контролем и нет места неожиданностям. Но так было не всегда. В данной статье мы рассмотрим прототипы ростеров, сравним визуальные отличия от предыдущих видов обжарки кофе, и попробуем спрогнозировать в какую сторону будет развиваться индустрия. Целью данного исследования является изучение моделей первых прототипов оборудования для обжарки кофе, и анализ каким образом они эволюционировали и какой вклад внесли в первые прототипы современных ростеров.

XV–XVIII века: от сковороды до первых барабанных ростеров

В XV–XVI веках первые приспособления для обжарки кофейных зерен были похожи на глиняные сковороды.[рис.2] У такого устройства было перфорированное дно

и длинная ручка. Его помещали над углями и непрерывно встряхивали, чтобы зерна не пригорали.

К 1600 году инженеры уже начали работать над изобретением коммерческого ростера. Но это задача оказалась труднее, чем могло показаться. Уильям Х. Юкерс в своей книге «Все о кофе» пишет об этом периоде: «Когда в середине XVII века французский врач Франсуа Бернье посетил Каир, то в тысяче городских кафе он нашел только двух человек, которые разбирались в искусстве обжаривания зерен».



Рис.1 Сковороды для обжарки кофе в Багдаде

Так в XVII веке появились первые барабаны для обжарки кофе. Зерна закладывали в перфорированный металлический цилиндр, помещали его над открытым огнем и приводили в движение с помощью рукоятки. Процесс обжарки стал более удобным и управляемым за счет того, что зерна постоянно перемешивались и нагревались равномернее.

Французский историк кофе Элен Десме-Грегуар писала о том времени: «От Аравии до Ближнего Востока, от Магриба до стран Средиземноморья можно встретить одни и те же жаровни: металлический лист, который кладут прямо на огонь, или контейнер в форме барабана, дополненный рукояткой и источником огня».

В XVIII веке изобрели еще две новые формы ростеров: устройства, похожие на казаны или кастрюли без крышки, и в виде сферы. Первые вмещали всего до 2 кг зерен. Обжарщик мог перемешивать зерна в процессе и тем самым контролировать степень обжарки. Более совершенные конструкции в форме сфер были оснащены осью и рукояткой для вращения и перемешивания зерен. Сферами было легче управлять, и они вмещали большее количество зерен.

Большинство устройств в тот период были самодельными и работали на твердом топливе: каменном угле, коксе и древесине. Во всех устройствах обжарка происходила за счет прямого контакта зерен с разогретым металлом. После обжарки горячие зерна высыпали в глиняные, деревянные или керамические контейнеры. Часто для быстрого охлаждения зерна дополнительно обливали водой.

В 50-х годах XVIII века на смену таким контейнерам пришли первые проволочные сита — предшественники современных устройств для охлаждения. Встряхивание таких сит помогало быстро охладить зерна, а также отделить от зерен сорняки и остатки пачмента.

XIX — начало XX века. Эпоха коммерческих ростеров

XIX век стал переломным этапом в кофейной индустрии. Именно в этот период практически одновременно в Европе и Америке создали коммерческие ростеры, способные обжаривать сразу большой объем зерен.

XIX век стал эпохой индустриализации во всех сферах производства. Не стала исключением и кофейная индустрия. Строительство автодорог, железнодорожных магистралей и водных каналов сделала кофе доступным продуктом для широких масс. Потребление кофе в мире значительно выросло.

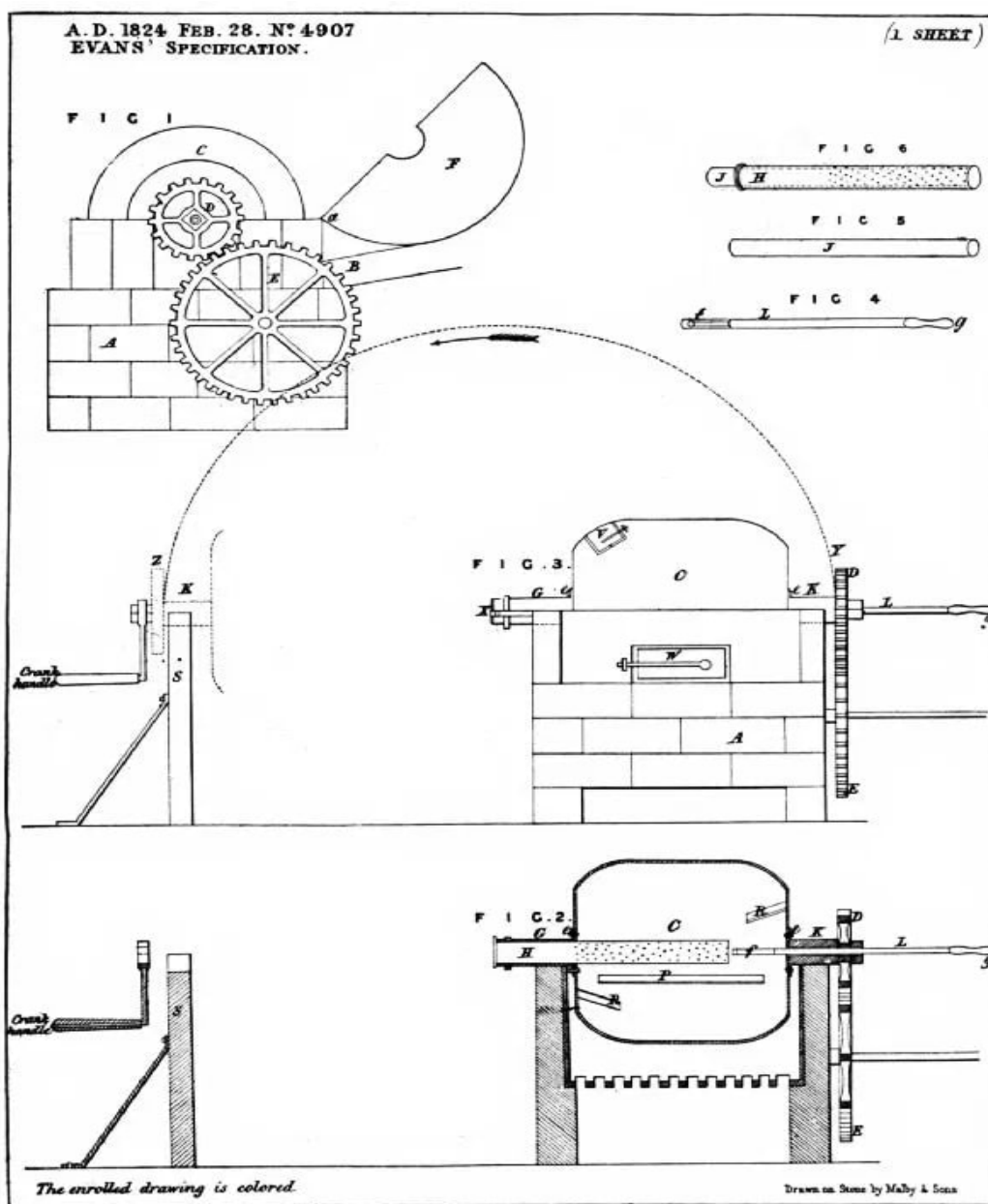


Рис. 2 Патент Ричарда Эванса на коммерческий ростер

В 1824 году англичанин Ричард Эванс впервые запатентовал коммерческий ростер. Он представлял собой металлический барабан, который помещали над горящими углями[рис. 2].

Решение нашли по другую сторону Атлантики. В 1846 г. Джеймс Картер из Бостона получил патент на свой закрытый цилиндрический ростер, заключенный в кирпичную кладку. Такой вариант был менее пожароопасным, но обжарщикам приходилось вытаскивать из печи раскаленный цилиндр и уже потом высыпать из него горячий кофе.

Новый толчок в развитии ростеров дала Гражданская война в США. В 1861–1865 годах солдаты северных штатов получали в своем ежедневном рационе кофе. Резкое увеличение объемов потребления кофе поставило перед кофейной промышленностью новую задачу — удешевление стоимости обжарки.

В 1864 году Джабез Бернс основал в Нью-Йорке фабрику по производству запатентованных ростеров с оригинальным внутренним цилиндром. Специальный открывающийся механизм позволял высыпать готовый кофе, не убирая ростер из печи. Его изобретение позволило предприятиям сократить время на обжарку кофе и увеличить тем самым объем производства. А это привело к снижению стоимости обжарки. Конструкция внутреннего цилиндра, запатентованная Бернсом, до сих пор используется во всех барабанных ростерах.

На рубеже XIX и XX веков ростеры начали переходить на новый вид топлива — природный газ. Он обеспечивал чистое горение, лучший контроль над процессом и более равномерную обжарку [1]. Газовая горелка располагалась непосредственно под барабаном, а вентилятор распределял тепло по барабану.

В 1905 году Probat представил газовый ростер Perfect. Новая конструкция отличалась обжарочным барабаном с двойными стенками. Внутренняя стенка была перфорированной, а внешняя — сплошной, без отверстий. Вентилятор направлял нагретый воздух сперва в пространство между стенками. Это предотвращало перегрев внутренней стенки и защищало её от засорения.

В США первую газовую модель запатентовали в 1906 году. В этой модели удалось снизить расход топлива за счет увеличения потока горячего воздуха, который более эффективно распределял тепло по поверхности зерна. Конструкция позволила сократить время обжарки до 16 минут. Производители ростеров также улучшили устройства для охлаждения кофе.

XX век — наши дни. Курс на автоматизацию

В начале XX века стало доступным электричество. В ростерах электрический двигатель постепенно заменил ручной труд, а огонь уступил место более управляемому электрическому теплу[3]. Новые технологии в кофейной индустрии позволили сделать процесс обжарки более прозрачным и контролируемым. Так, в начале XX века в ростерах появляются датчики температуры и пробоотборники (сэмплеры) — устройства для контроля температуры и качества обжарки. Позже в ростеры стали встраивать лазерные колориметры для измерения степени обжарки и системы автоматической очистки ростеров от загрязнений.

Будущее ростеров

Одна из последних тенденций в развитии ростеров — экологичность [7-10]. В результате обжарки кофейных зерен выделяются загрязняющие атмосферу вещества: угарный газ, оксид азота, соединения азота и серы. Чтобы снизить объем выбросов, современные модели оснащают устройствами для контроля загрязнения воздуха и дожигателями, уничтожающими примеси. Компьютерный век позволил производителям ростеров лучше понимать процесс обжарки и контролировать его на каждом этапе. Новые технологии позволили тонко управлять процессом и максимально раскрывать вкусовой потенциал кофейных зерен.

Самые технически сложные, современные и дорогие ростеры сегодня — это ростеры смешанного типа, сочетающие в себе достоинства кондукционных и конвекционных. В производстве этих моделей используют все знания и разработки обжарщиков кофе.

Однако отрасль продолжает развиваться. Сейчас производители ростеров преследуют три цели: автоматизировать процесс обжарки, упростить интерфейс устройств, а также уменьшить негативное влияние всей отрасли обжарки кофе на окружающую среду.

Список использованных источников

1. Ахметшина, С. Как по вкусу определить, каким был профиль обжарки //URL: <https://shop.tastycoffee.ru/blog/kak-po-vkusu-opredelit-profil-objarki>
2. Ахметшина, С. Как по вкусу определить, каким был профиль обжарки //URL: <https://shop.tastycoffee.ru/blog/istoria-razvitia-rostero>
3. Демиш, В. Устройство и особенности ростеров для обжарки кофе //URL: <https://shop.tastycoffee.ru/blog/oborudovanie-objarki-kofe>
4. Ростер Probatone 12 //URL: <https://25coffeeroasters.ua/probatone-12>
5. Ростер Probatone 25 //URL: <https://25coffeeroasters.ua/probatone-25>
6. Руководство «Ростер для кофе Probatone 12 Тип 2» // URL: <https://www.probat.com/en/products/shoproaster/produkte/roasters/p-series-probatino/>
7. Хоффман Д. Всемирный атлас кофе. От зерна до чашки. Полный путеводитель по странам-производителям, сортам и способам приготовления. - М.: ПальмираЮ 2018. -226 с.
8. Nemtinov, V.A. Visualization of a virtual space and time model of an urban development territory / V.A. Nemtinov, A.A. Gorelov, Y.V. Nemtinova, and A.B. Borisenko // Scientific Visualization, 2016. vol. 8, no. 1, pp. 120–132.
9. Немтинов, К.В., Ерусланов А.К., Немтинов В.А. Технология автоматизированного синтеза сложных технологических комплексов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 75–83.
10. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я.Егоров, П.И.Пахомов // Информационные технологии. - 2009. № 10. - С. 34-38.

УДК 62-53

Василевский К.С.¹, Дмитриевский Б.С.²

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: kvasilevskii@yandex.ru

²e-mail: dmiboris@yandex.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВОК - ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
ПАРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Vasilevskiy K.S.¹, Dmitrievskiy B.S.²

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: kvasilevskii@yandex.ru

²e-mail: dmiboris@yandex.ru

**MATHEMATICAL MODELING OF INSTALLATIONS THAT CONSUME
HIGH-PRESSURE STEAM AT OIL REFINERIES**

Аннотация: В данной статье рассмотрена установка-потребитель пара высокого давления нефтеперерабатывающего производства как объект управления, производящая пар низкого давления и конденсат. Приведено математическое описание установки.

Ключевые слова: Пар высокого давления, математическое описание, нефтепереработка.

Abstract. This template contains analysis of the installation as a control object that consumes high-pressure steam, produces low-pressure steam and condensate. Has been developed a mathematical description of the installation.

Keywords: High-pressure steam, mathematical description, oil refining.

Непрерывный процесс нефтепереработки- сложный и технологически разнообразный процесс, в котором участвуют множество последовательно-параллельно соединенных установок. Данные установки, потребляющие пар различного давления, как правило, разделяются по давлению пара, по характеру его потребления, а также по выходному продукту с точки зрения процесса пароснабжения[1]. Наиболее распространенный тип таких установок - установки, потребляющие пар высокого давления и производящие пар среднего давления, конденсат (установка УВС).

Рассмотрим данную установку как объект управления.

Для данного объекта входными величинами являются:

Расход пара, подаваемого на установку- G_n^{6x}

Выходными величинами являются:

Расход пара, генерируемого установкой- G_n^{6blx}

Расход конденсата, генерируемого установкой- G_k^{6blx}

Промежуточными величинами являются:

Температура пара, генерируемого установкой- T_{nc}^{6blx}

Давление пара, генерируемого установкой- P_{nc}^{6blx}

Давление конденсата, генерируемого установкой- P_k^{6blx}

Расход пара безвозвратных потерь- G_n^{nm}

Количество теплоты потребления собственных нужд установки- $Q_{сн}$

Возмущающими воздействиями выступают:

Температура наружного воздуха- T_v

Температура пара, подаваемого на установку- T_n^{6x}

Давление пара, подаваемого на установку- P_n^{6x}

Схема установки как объекта управления представлена на рис. 1 [2].

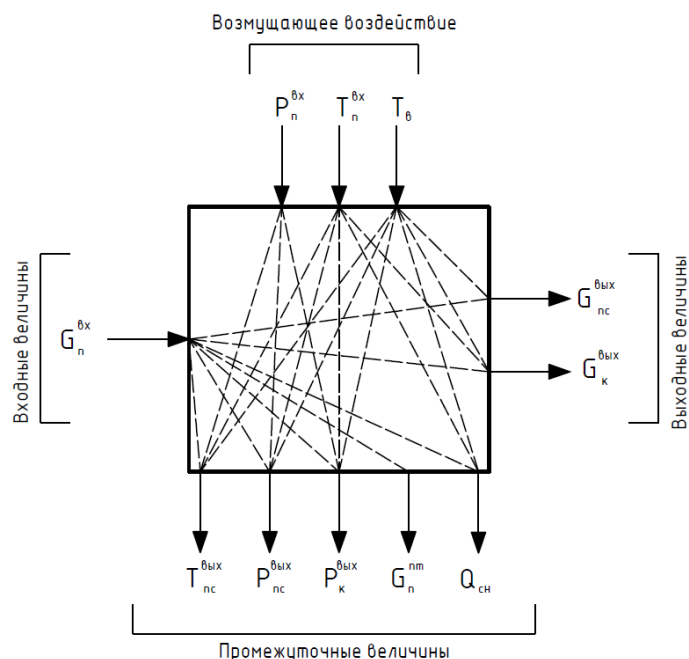


Рис. 1. Установка тип УВС как объект управления

Далее составим математическое описание установки УВС, которое будет состоять из уравнений материального и энергетического баланса [3].

Схема материального распределения внутри установки показана на рис. 2.

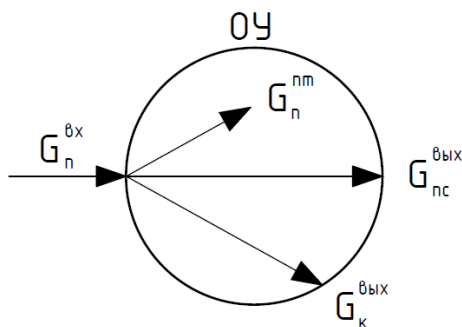


Рис. 2. Схема материального распределения установки УВС

где:

G_n^{6x} – расход входящего острого пара;

G_n^{nm} – расход пара безвозвратных потерь;

$G_{nc}^{6вых}$ – расход выходящего пара среднего давления;

$G_k^{6вых}$ – расход выходящего конденсата.

Уравнение материального баланса:

$$\frac{dM_{nc}}{d\tau} = G_n^{6x} - G_n^{nm} - G_k^{6вых} - G_{nc}^{6вых} \quad (1)$$

Уравнение энергетического баланса:

$$\begin{aligned} \frac{d(M_{nc} C_{nc} T_{nc})}{d\tau} = & G_n^{6x} i_n^{6x} - G_n^{nm} i_n^{6x} - G_k^{6вых} i_k^{6вых} - G_{nc}^{6вых} i_{nc}^{6вых} + \\ & G_{nc}^{6x} C_n (T_n^{6x} - T_{nc}^{6вых}) + G_k^{6вых} L - SF(T_n^{6x} - T^6) - Q_{сн}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$i_n^{6x} = f_1(P_n^{6x}, T_n^{6x}); \quad (3)$$

$$i_k^{6вых} = f_2(P_k^{6вых}, T_k^{6вых}); \quad (4)$$

$$i_{nc}^{6вых} = f_1(P_{nc}^{6вых}, T_{nc}^{6вых}); \quad (5)$$

$$G_n^{6x} = \alpha_1 \sqrt{P_n^{6x} - P_n^{уст}}; \quad (6)$$

$$G_n^{nm} = \alpha_2 G_n^{6x}; \quad (7)$$

$$P_n^{6x} V_n^{6x} = \frac{M_n^{6x}}{M_{мол}} RT_n^{6x}; \quad (8)$$

$$P_{nc}^{6вых} V_{nc}^{6вых} = \frac{M_n^{6вых}}{M_{мол}} RT_n^{6вых}; \quad (9)$$

$$S = \pi DL; \quad (10)$$

$$Q_{сн} = f_3(G_n^{6x}, T_n^{6x}, T^6); \quad (11)$$

где:

$M_{nc} [кг]$ – масса пара среднего давления;

$C_{nc} \left[\frac{Дж}{кгК} \right]$ - удельная теплоемкость пара среднего давления;

$T_{nc} [^{\circ}C]$ - температура пара среднего давления;

$i_n^{ex} \left[\frac{Дж}{кг} \right]$ - энтальпия входящего острого пара высокого давления;

$i_{nc}^{вых} \left[\frac{Дж}{кг} \right]$ - энтальпия выходящего пара среднего давления;

$i_k^{вых} \left[\frac{Дж}{кг} \right]$ - энтальпия выходящего конденсата;

$T_n^{ex} [K]$ - температура входящего пара высокого давления;

$T_{nc}^{вых} [K]$ - температура выходящего пара среднего давления;

$T_e^{кип} [K]$ - температура кипения воды;

$L \left[\frac{Дж}{кг} \right]$ - удельная теплота парообразования воды;

$S [m^2]$ - суммарная площадь поверхности теплообмена трубопровода установки с окружающей средой;

$F \left[\frac{Вт}{МК} \right]$ - коэффициент теплопередачи между трубопроводом установки и наружным воздухом;

$T^e [K]$ - температура наружного воздуха;

$D [m]$ - наружный диаметр трубопровода внутри установки;

$L [m]$ - общая длина трубопровода внутри установки;

$Q_{сн} [Дж]$ - количество теплоты потребления собственных нужд установки.

Список использованных источников

1. Иванец, К.Я. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация/ Иванец К.Я., Лейбо А.Н. – СПб.: Химия, 1966. – 343с.
2. Дворецкий, С.И. Проектирование автоматизированных систем управления химико-технологическими процессами: Учебное пособие./ С.И. Дворецкий, Т.Я. Лазарева. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 1993. - 206 с.
3. Грачев, Ю.П. Моделирование и оптимизация тепло - и массообменных процессов/ Ю.П. Грачев, А.К. Тубольцев, В.К. Тубольцев. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 216 с.

УДК 536.2

Дурнов А.А.¹, Воеводкин С.А.², Балашов А.А.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: dontpobeda@yandex.ru;

²e-mail: voevodkin1998@mail.ru;

³e-mail: balashovalexey@yandex.ru.

ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ТРУБЫ

Durnov A.A.¹, Voevodkin S.A.², Balashov A.A.³

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: dontpobeda@yandex.ru;

²e-mail: voevodkin1998@mail.ru;

³e-mail: balashovalexey@yandex.ru.

VIRTUAL MODEL FOR DETERMINING THE THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF SOLIDS BY THE PIPE METHOD

Аннотация: Эта статья посвящена созданию виртуальной модели для определения коэффициента теплопроводности твёрдых тел методом трубы в программе Elcut, методом конечных элементов.

Ключевые слова: виртуальная модель, коэффициент теплопроводности, твердое тело, температура.

Abstract. This article is devoted to the creation of a virtual model for determining the thermal conductivity of solids by the pipe method in the Elcut program, by the finite element method.

Keywords: virtual model, coefficient of thermal conductivity, solid, temperature.

С целью повышения точности проведения эксперимента при определении коэффициента теплопроводности твердого материала, было осуществлено виртуальное моделирование физической схемы установки.

Физическая схема установки приведена на рис. 1.

Для начала моделирования выстраиваем геометрию задачи, исходя из размеров установки в программе Elcut [1]. Следует отметить, что модель задаётся симметричной относительно вертикальной оси. Диаметр наружной трубы 39 мм, толщина стенок 3 мм, диаметр внутренней трубы 18 мм, толщина стенок внутренней трубы 2 мм. Длина труб 960 мм. Трубы изготовлены из меди. С двух сторон, для снижения влияния краевого эффекта установлены заглушки из текстолита, длиной по 30 мм, см. рис. 2.

Далее задаём параметры граничных условий на каждой метке ребра: внешние поверхности, внутренние поверхности, источник тепла, ось симметрии.

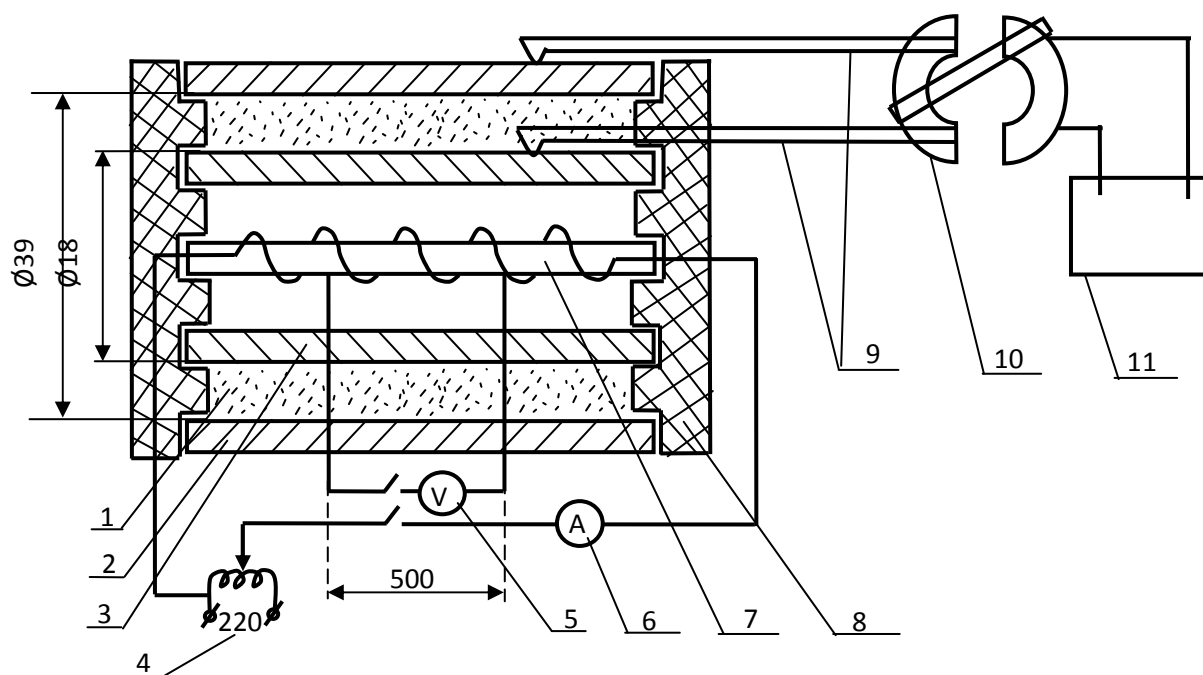


Рис 1. Физическая схема установки

1 - испытуемый сыпучий материал, 2 - наружная холодная труба, 3 - внутренняя горячая труба, 4 - лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) для регулирования мощности нагревателя, 5 - вольтметр, 6 - амперметр, 7 - электронагреватель, 8 - изолирующие заглушки, 9 - восемь термопар медь-констант (МК), на внутренней трубе и на наружной трубе, 10 - переключатель термопар для последовательного соединения термопар с потенциометром, 11 - переносной потенциометр ПП-63.

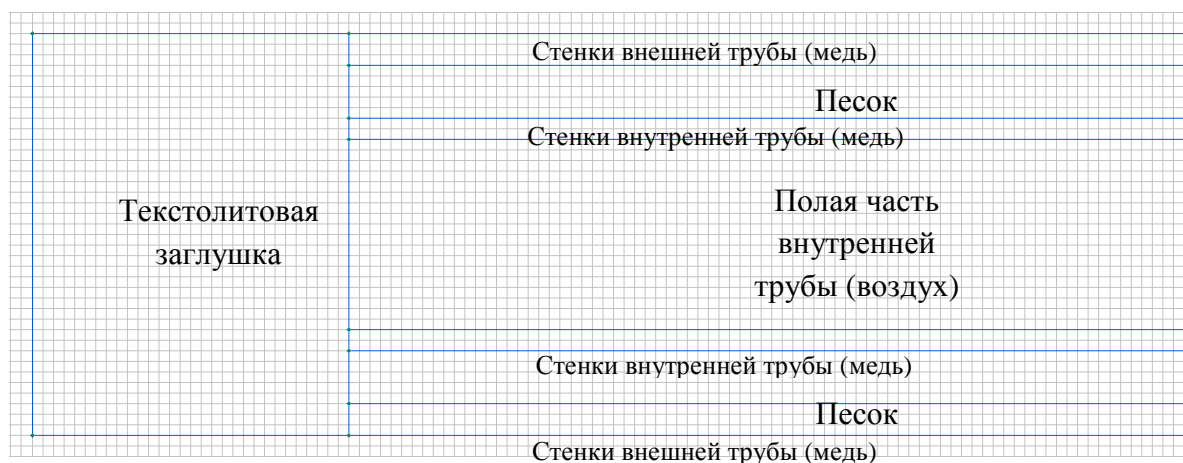


Рис 2. Построение геометрии задачи

Создав модель и решив её (рис. 3), программа Elcut выводит нам информацию о распределении температуры внутри модели (рис. 4).

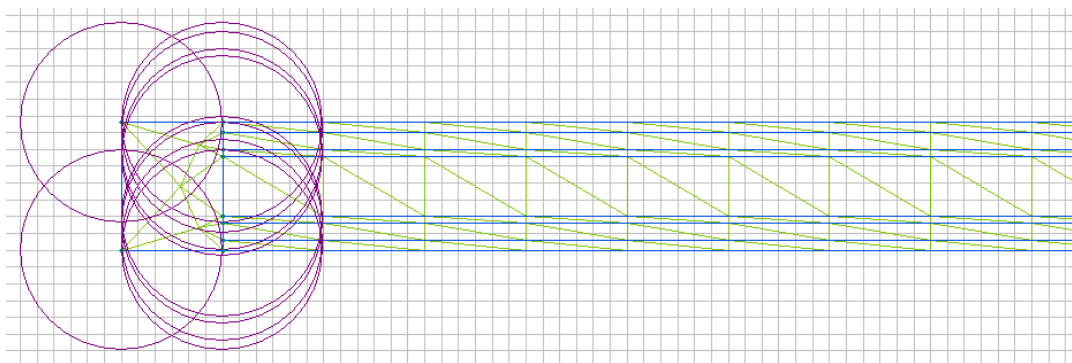


Рис. 3 Распределение сетки конечных элементов

Таким образом, построение виртуальной модели даёт наглядное представление о распределении тепловой энергии внутри установки, а также информацию о температуре в любой точке.

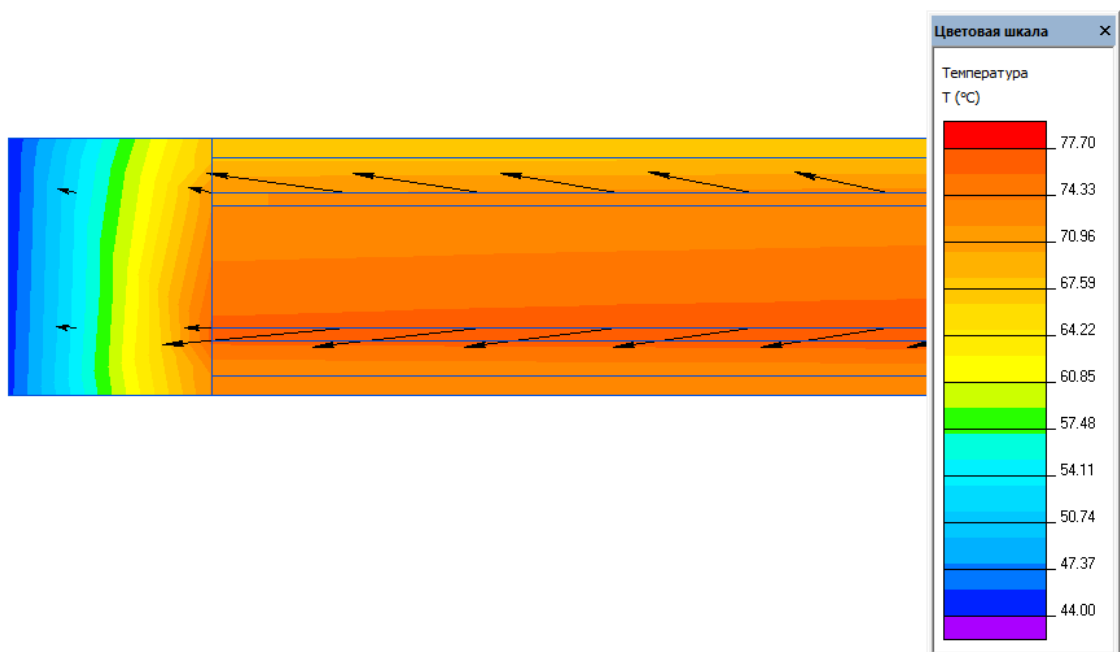


Рис. 4 Распределение температуры

Задаваясь необходимой мощностью теплового потока мы можем исследовать процессы происходящие с исследуемым твердым телом, что позволит, разработать комплекс мер по повышению точности измерения коэффициента теплопроводности твёрдого тела.

Список использованных источников

1. ELCUT Версия 6.5. Руководство пользователя. URL: https://elcut.ru/downloads/manual_r.pdf (дата обращения 03.10.2021).

Секция

**ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И
ПРОТОТИПИРОВАНИЕ
СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ОБЪЕКТОВ**



УДК 004.94:721.021.23:725.42

Ельчищева Т.Ф., Матвеева И.В., Попова В.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: elschevat@mail.ru

**3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРЬЕРА ЗДАНИЯ
ДОМА КУЛЬТУРЫ «ЗНАМЯ ТРУДА» В Г. ТАМБОВЕ**

Elchishcheva T. F., Matveeva I.V., Popova V.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: elschevat@mail.ru

**3D-MODELING AND VISUALIZATION OF THE INTERIOR OF THE BUILDING
OF THE HOUSE OF CULTURE «ZNAMYA LABORA» IN TAMBOV**

Аннотация: Объектом исследования являются этапы подготовки к проведению реставрационных работ и капитального ремонта в здании Дома культуры «Знамя труда» в г. Тамбове. Результатом работы является создание для объекта культурного наследия регионального значения трехмерной модели зрительного зала и визуализация интерьера с нескольких видовых точек.

Ключевые слова: объект культурного наследия, памятник архитектуры, визуализация интерьера, трехмерная модель.

Abstract: The object of the research is the stages of preparation for restoration work and major repairs in the building of the House of Culture "Znamya Truda" in the city of Tambov. The result of the work is the creation of a three-dimensional model of the auditorium for a cultural heritage object of regional significance and visualization of the interior from several viewpoints.

Keywords: cultural heritage site, architectural monument, interior visualization, three-dimensional model.

Архитектурные объекты, созданные зодчими в 19–20 веках требуют особого внимания при эксплуатации, а также своевременного проведения ремонтно-восстановительных работ [1]. Реставрационные работы памятников архитектуры – трудоемкий процесс, подчиненный ряду правил и регламентов [2]. Здания историко-культурного наследия в г. Тамбове высоко ценятся с точки зрения основного значимого достояния города. В рамках программы капитального ремонта здания Дома культуры «Знамя труда» в г. Тамбове по ул. Интернациональной, дом 118, выполнялся интерьер основного зрительного помещения с сохранением функциональных особенностей и существующих элементов декора на потолке.

Работа над моделированием и визуализацией интерьеров велась в несколько этапов:

1. визуальное исследование помещения, фотофиксация с разных ракурсов общей массы помещения и отдельных элементов существующего интерьера;
2. обмеры и составление детальных чертежей планов, разверток стен и декораций;
3. создание трехмерной модели концертного зала с помощью учебных версий программного обеспечения для 3D-моделирования;
4. визуализация интерьера с трех видовых точек в программной среде ArchiCAD и предложения по цветовому решению, работа в графическом редакторе;
5. подача готового варианта визуализаций и создание разверток стен с экспликацией отделочных материалов.

Исследование помещения и фотофиксация. Подготовительный этап заключался в осмотре зрительного зала на 400 мест и фотофиксации существующего состояния помещения (рис. 1).



Рис. 1. Фотофиксация зрительного зала Дома культуры «Знамя труда» в г. Тамбове

В ходе работы были исследованы архитектурные аспекты, выполнены инженерно-технические изыскания, выявлены сохранившиеся элементы декоративных форм и со-

ставлен план проведения работ для данного объекта. Проектом капитального ремонта разрабатывался сотрудниками ООО «НПО «Кафедра», г. Тамбов.

Составление чертежей по обмерам. На данном этапе с помощью измерительных приборов были выявлены габаритные размеры помещения, элементов стен, потолка и пола, декоративной лепнины и существующей мебели. Все данные отображены на обмерных чертежах планов, разреза и некоторых узлов в соответствии с нормативными требованиями и стандартами [3] (рис. 2).

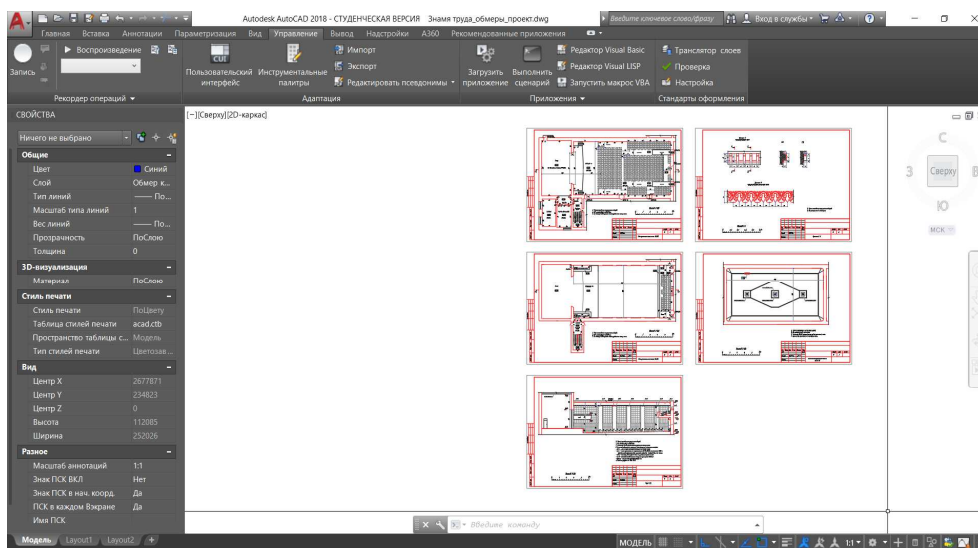


Рис. 2. Обмерные чертежи зрительного зала в среде AutoCAD

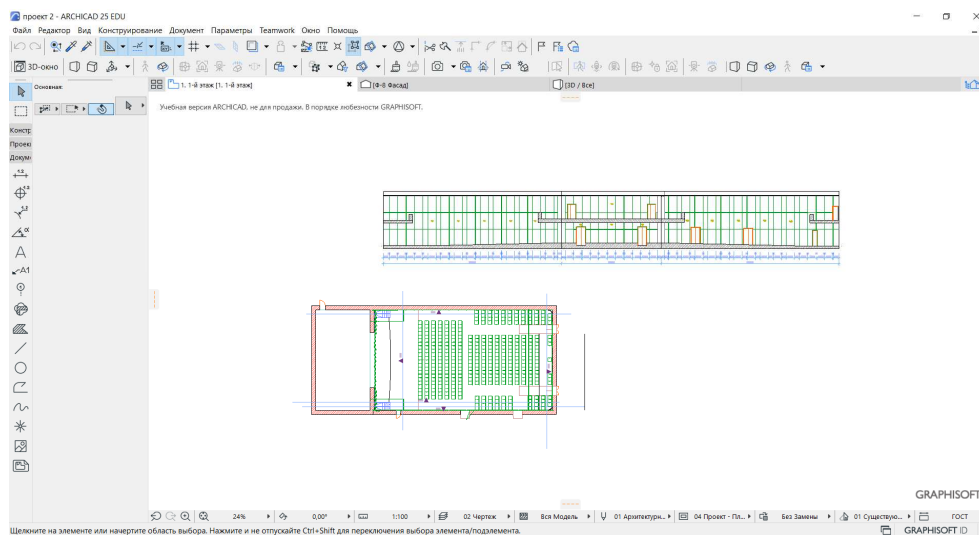


Рис. 3. Плоскостные чертежи зрительного зала в среде ArchiCAD

Трехмерное моделирование. Для создания модели зрительного зала в соответствии с обмерными чертежами использовалась программа для 3D-моделирования Archi-

CAD25 (учебная версия). Первым был выполнен плоскостной чертеж плана, в окне перспективного изображения указывались высотные отметки каждого элемента конструкций (рис. 3).

Возможности программного обеспечения ArchiCAD позволяют воплощать любые идеи и замыслы, наглядно демонстрируя их в нужном масштабе. При этом можно выполнить не только крупный объем здания, но и детально проработать малогабаритные элементы. Такие технологии погружают человека в виртуальную реальность фотореалистичного перспективного изображения интерьера, которое отражает дизайнерский замысел [4].

На следующей стадии были добавлены объекты мебелировки, осветительные приборы, настенные панели и потолочный декор (рис. 4). В начальном этапе моделирования объект выполнялся в нейтральных тонах.

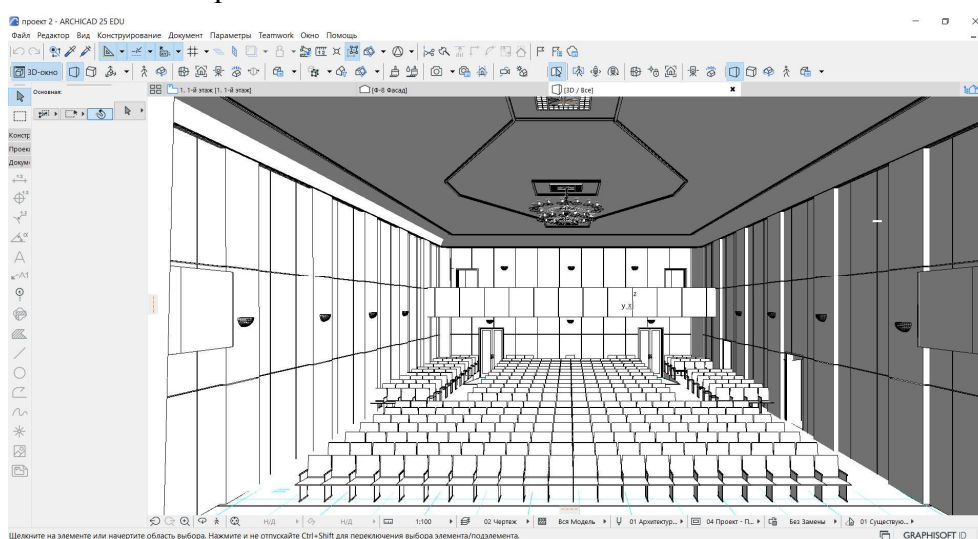


Рис. 4. 3D-модель зрительного зала в среде ArchiCAD

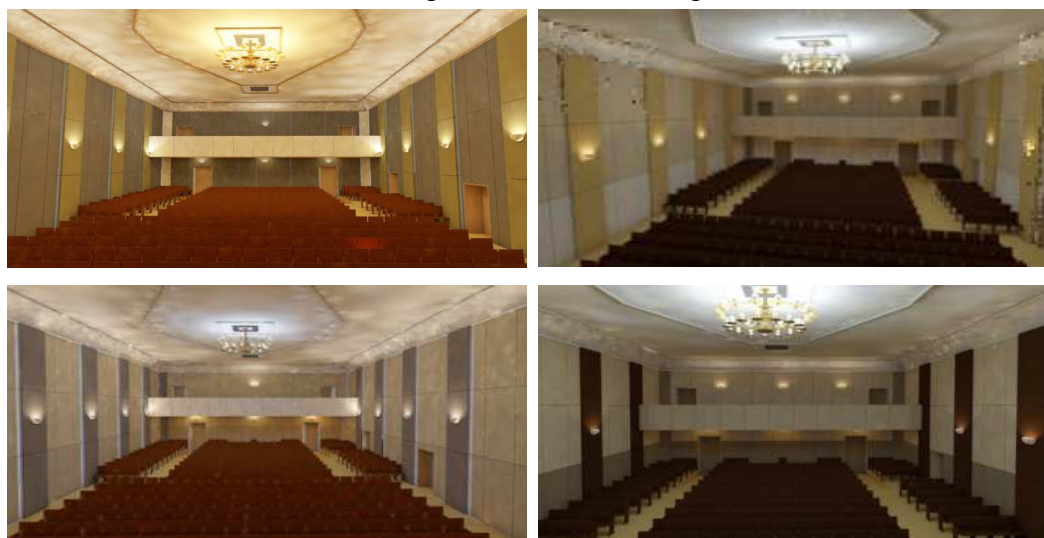


Рис. 5. Визуализация вариантов цветового оформления зрительного зала

Помещение зрительного зала выполнено в светлых бежевых тонах с цветовыми коричневыми акцентами. Темные фальш-колонны делят плоскость стены на участки, это представляет возможность сделать пространство более грандиозным. Нижний ряд панелей несет в себе защитную функцию для светлых участков от воздействия человеческого фактора. По периметру помещения на выступающих частях размещены осветительные приборы, на потолке предусмотрена одна люстра. Лепнина на потолке, карнизы и другие сохранившиеся элементы будут отреставрированы с сохранением своего первоначального облика, это даст возможность внести в современный интерьер ценный дух памятника [6].

На проектировании данного интерьера есть возможность проследить, как стремительное развитие технического прогресса в современном мире новейших разработок дает возможность применить компьютерные технологии в различных сферах деятельности людей. Создание 3D-моделей объектов культурного наследия позволит сохранить чертежи и первоначальный вид памятников в цифровом формате, что в будущем даст возможность моделировать целые города в разные временные эпохи.

Список использованных источников

1. Гуляницкий, Н.Ф. О современном значении понятия «памятник архитектуры» / Н.Ф. Гуляницкий // Теория и практика реставрационных работ (ArtConservation: социал. специализ. ресурс информ. содейств. в сфере сохр., консерв. и реставр. памятн. матер. культ). – М.: НИИТИиППСА, 1972. – № 3.
2. ГОСТ Р 55528-2013. Состав и содержание научно-проектной документации по сохранению объектов культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования. – Введ. 01.01.2014. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
3. ГОСТ Р 56905-2016. Проведение обмерных и инженерно-геодезических работ на объектах культурного наследия. Общие требования. – Введ. 01.09.2016. – М.: Стандартинформ, 2019. – 27 с.
4. Свищев, А.В. Визуализация интерьеров в формате виртуальной реальности / А.В. Свищев, А.А. Яровиков // Colloquium-journal. – 2020. – №10 (62). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualizatsiya-interierov-v-formate-virtualnoy-realnosti> (дата обращения: 11.10.2021).
5. Мастеница, Е. Н. Культурное наследие в современном мире: концептуализация понятия и проблематики / Е.Н. Мастеница // Мировая политика и идейные парадигмы эпохи: сб. статей. – СПб: СПбГУКИ, 2008. – С. 252–262.
6. Степанова, Ю.В. Основы реставрации: учебное пособие / Ю.В. Степанова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – 56 с.

УДК 004.021

Немтинов В.А., Борисенко А.Б., Трюфилькин С.В., Морозов В.В., Немтинова Ю.В.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: kafedra@mail.tstu.ru

**ПАМЯТНЫЕ МЕСТА В ТАМБОВСКОМ КРАЕ, СВЯЗАННЫЕ С
ЖИЗНЬЮ СЕМЬИ АСЕЕВЫХ**

Nemtinov V.A., Borisenko A.B., Tryfilkin S.V., Morozov V.V., Nemtinova Yu.V.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: kafedra@mail.tstu.ru

**MEMORABLE PLACES IN THE TAMBOV REGION ASSOCIATED WITH THE
LIFE OF THE ASEYEV FAMILY**

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы создания виртуальных моделей памятных мест, связанных с пребыванием и жизнедеятельностью в Тамбовском крае Михаила Васильевича Асеева и его семьи.

Ключевые слова: информационный анализ, виртуальная модель территории памятных мест, связанных с жизнедеятельностью в Тамбовском крае семьи Асеевых.

Abstract. The article discusses the issues of creating virtual models of memorable places associated with the stay and life in the Tambov Region of Mikhail Vasilyevich Aseev and his family.

Keywords: information analysis, a virtual model of the territory of memorable places associated with the life activity in the Tambov region of the Aseev family.

До конца прошлого века в официальных информационных источниках, изданных в Тамбовской области, практически не было никаких сведений о самом богатом предпринимателе, проживавшим в городе Тамбове на рубеже 19-20-го веков – Михаиле Васильевиче Асееве. Даже в самом популярном и, признанном во всероссийском масштабе первом издании Тамбовской энциклопедии [1], была помещена заметка о Михаиле Васильевиче Асееве, которая указывала лишь приблизительную дату его смерти без указания места его кончины. Основной причиной тому было то, что в годы советской власти целенаправленно уничтожалось всё, что было связано с этим человеком. В силу идеологических установок, строго соблюдавшихся в то время, династия предпринимателей Асеевых, широко известная в предреволюционную эпоху в Тамбовской, Пензенской и Саратовской губерниях, представлялась только как эксплуататорская, существовавшая за счёт доходов, созданных трудом большого числа рабочих, трудившихся на фабриках, принадлежавших Асеевым.

Однако в Тамбовском крае на протяжении всего 20-го века не смолкала молва о купцах Асеевых, вышедших из простых крестьян, и, ставших крупными фабрикантами-производителями, слава о которых дошла и до столиц Российской империи. В народе много лет возникали и передавались от одного поколения другому легенды, связанные с крестьянами, с разбойниками, с купцами и с фабрикантами, относившимися к одному роду, носившими одну фамилию, – Асеевы. В 70-е годы прошлого века тамбовский прозаик Евгений Яковлев написал роман «Ярмарка», состоящий из 5-ти томов [2]. Главными героями этого повествования, описывающего период развития капиталистических отношений в Тамбовской губернии, автор сделал предприимчивых, энергичных выходцев из крестьянского сословия – Асеевых. В романе много вымысла, много искажений исторической сути, но лейтмотивом всего многотомного произведения является слепое преклонение героев власти денег, готовность пожертвовать буквально всем ради богатства и наживы. В итоге самое большое литературное произведение о династии предпринимателей Асеевых могло только вызвать интерес к этой теме, но не могло служить источником биографических сведений и истинной информации, раскрывающей деловые отношения, которые вели купцы и фабриканты Асеевы.

В данной работе авторами рассмотрены вопросы виртуальной реконструкции объектов, связанных жизнедеятельности семьи Асеевых в Тамбовском крае. Технология создания виртуального пространства описана авторами в работах [3 - 13].

Дом Асеева в с. Арженка. Первый дворец был построен Асеевыми в Арженке. Двухэтажный особняк, выстроенный не далеко от самой фабрики, был первым домом семьи М.В. Асеева. В 1905 году он был передан в распоряжение сельской церкви, поскольку семья Асеевых переехала на постоянное жительство в Тамбов. Новый особняк в Арженке, построенный в начале 90-х годов 19-го века, использовался тогда уже как летняя резиденция и соответствовал в архитектурном назначении стилю настоящего дворца. На рис. 1 представлена визуализация виртуальной модели дома Асеева в Арженке Рассказовского района, а на рис. 2 - визуализация вида виртуальной модели водонапорной башни на территории дома Асеева в Арженке.

Его описание достаточно сложно и длительно по этой причине отметим лишь основные черты дворца в Арженке. Фасад здания имеет изящный портик с оригинальными фронтонами над арочными проёмами окон. На первом этаже располагались кладовые, кухня и другие подсобные помещения. На верхнем этаже была гостиная, столовая, спальни, зал, библиотека, кабинет владельца и открытая терраса. Все комнаты имели роспись, которая в других комнатах не повторялась. Особенно красиво были оформлены потолки, некоторые из них имели деревянное оформление. Для провинции, которой являлась вся Тамбовская губерния, такой дворец в Арженке был роскошным и необычным. Изменившиеся планы М.В. Асеева отразились и на судьбе этого дворца. Большая часть помещения после переезда семьи в Тамбов была отведена под приют для детей, родители которых пострадали, работая на фабрике. В годы Великой Отечественной войны там размещался эвакуогоспиталь, а в послевоенное время дольше всего она служила объектом образовательного направления. Там располагались детские учебные за-

ведения. К началу нашего века здание бывшего дворца пришло в упадок. Его дальнейшее использование не представлялось возможным и несколько лет оно оставалось безхозным. Лучшие времена, когда объект был признан в качестве культурно-исторического значения, начались 5 лет назад. За последние годы он был полностью отреставрирован, такой же реконструкции подвергся и усадебный парк. В настоящее время ведутся работы по оформлению восстановленного дворца и прилегающего парка в качестве объекта музейно-туристического назначения.



Рис. 1. Визуализация виртуальной модели дома Асеева в Арженке
Рассказовского района



Рис. 2. Визуализация виртуальной модели водонапорной башни на
территории дома Асеева в Арженке

Дом Асеева в г. Тамбове на ул. Набережной. Вторым объектом, сохранившимся в Тамбове, и, принадлежавшим до революции семье Асеевых, является городская усадьба Асеева. Она находится на улице Набережной на высоком берегу реки Цны. В 1903 году М.В. Асеев выкупил у жены надворного советника Ж. Домбровской усадьбу, которая располагалась в южной части города на берегу реки. Вскоре началось строительство нового Асеевского дворца. Долгие годы не удавалось установить имя архитектора - автора проекта, по которому был возведён этот дворец. В настоящее время считается, что им был известный московский архитектор Л. Кекушев. Есть фактическое подтверждение этому в виде чертежа, подписанного Львом Кекушевым с точным указанием начерченного объекта/9/. Остаётся только установить причину столь долгих поисков автора и всего того, что, связано с этим. Изящный двухэтажный особняк белого цвета вне сомнений соответствует облику дворца. Как утверждают архитекторы, он выполнен в стиле, сочетающим позднюю эклектику и ранний модерн. На рис. 3 представлена визуализация вида сверху виртуальной модели дома Асеева в г. Тамбове на ул. Набережной, а на рис. 4 - визуализация вида виртуальной модели дома художника Н.М. Шевченко на территории дома Асеева в г. Тамбове на ул. Набережной.



Рис. 3. Визуализация вида сверху виртуальной модели дома Асеева в г. Тамбове на ул. Набережной

Его описание достаточно сложно и длительно по этой причине отметим лишь основные черты дворца в Арженке. Фасад здания имеет изящный портик с оригинальными фронтонами над арочными проёмами окон. На первом этаже располагались кладовые, кухня и другие подсобные помещения. На верхнем этаже была гостиная, столовая, спальни, зал, библиотека, кабинет владельца и открытая терраса. Все комнаты имели роспись, которая в других комнатах не повторялась. Особенно красиво были оформлены потолки, некоторые из них имели деревянное оформление. Для провинции, которой

являлась вся Тамбовская губерния, такой дворец в Арженке был роскошным и необычным. Изменившиеся планы М.В. Асеева отразились и на судьбе этого дворца. Большая часть помещения после переезда семьи в Тамбов была отведена под приют для детей, родители которых пострадали, работая на фабрике. В годы Великой Отечественной войны там размещался эвакогоспиталь, а в послевоенное время – дольше всего она служила объектом образовательного направления. Там располагались детские учебные заведения. К началу нашего века здание бывшего дворца пришло в упадок. Его дальнейшее использование не представлялось возможным и несколько лет оно оставалось бесхозным. Лучшие времена, когда объект был признан в качестве культурно-исторического значения, начались 5 лет назад. За последние годы он был полностью отреставрирован, такой же реконструкции подвергся и усадебный парк. В настоящее время ведутся работы по оформлению восстановленного дворца и прилегающего парка в качестве объекта музейно-туристического назначения.



Рис. 4. Визуализация вида виртуальной модели дома художника Николая Михайловича Шевченко на территории дома Асеева в г. Тамбове на ул. Набережной

Подробное описание конструкции здания дворца невозможно без использования фотоснимков и чертежей, поясняющих описание. Как уже упоминалось выше, на сегодняшний день Асеевский дворец в Тамбове можно считать самым лучшим архитектурным и историческим объектом, расположенным на территории Тамбовской области. Своим первоначальным владельцам он служил до весны 1918 года. После того, как Асеевы покинули Тамбов, этот дворец и парк, расположенный за ним, был передан колонии для бедных детей (другое название – колония малолетних преступников). Осенью того же года детское заведение сменили отделы Пролеткульта, а затем агрономи-

ческий факультет Тамбовского университета до его упразднения в 1921 году, потом здесь был госпиталь для выздоравливающих красных кавалеристов и другие учреждения. С конца 20-х годов здание бывшего дворца находилось на службе Наркомата здравоохранения. В годы войны здесь был один из 48-ми госпиталей для бойцов Красной Армии.

Дом Асеева в г. Тамбове на ул. Лермонтовской. На территории бывшей княжеской усадьбы Ишеевых в наши дни стоит большой многоквартирный жилой дом. В плане этот дом имеет «Г»-образную форму. Его длинная сторона выходит на улицу Лермонтовскую. Балконы здания размещены как со стороны фасада, так и со стороны двора. Внешний вид напоминает жилые многоквартирные дома, которые строились в конце 50-х годов прошедшего века. Однако по сведениям, полученным от старожилов, этот дом был перестроен из другого дома, стоявшего здесь с дореволюционных пор. В этом легко убедиться, посмотрев на обнаженную от штукатурки кирпичную кладку цокольного этажа. В центральной части она старше по времени, нежели на торцах здания. Говорят, что первоначальное здание было двухэтажным, не длинным, во всяком случае короче, чем существующее, а с фасадной стороны оно имело большие балконы. По некоторым сведениям этот дом был построен на средства фабриканта М.В. Асеева и предназначался в качестве свадебного подарка дочери Екатерине, которая выходила замуж за В.П. Ишеева. Предполагалось, что молодые будут использовать его как доходный дом. Этот подарок заставил старую княгиню Я. Ишееву дать согласие на брак своего сына с дочерью Асеева. Первоначально княгиня возражала против этого брака, так как Асеевы к тому времени (примерно 1913-1914 год) еще не имели дворянского титула. Интересна судьба самой Ядвиги Антоновны Ишеевой (1846-1924). Известно, что родом она была из города Белостока (Польша), по национальности полячка. В городе Тамбове она оказалась вместе с родственниками, которые, предположительно, были высланы в Россию за участие в польском восстании 1863 года. В дом Ишеевых Ядвига Антоновна попала в качестве гувернантки и занималась воспитанием детей князя П. Ишеева от первого брака. Новый брак князя с молоденькой гувернанткой нельзя было назвать равным, так как супруг был значительно старше своей новой жены и, как это часто бывало в таких случаях, гораздо богаче ее. Судьба подарила им двоих детей: сына Василия и дочь Марию. Молодая княгиня Я.А. Ишеева быстро привыкла к своему новому положению и, забыв о своем не дворянском происхождении, вскоре превратилась в истинную аристократку. В те годы, когда сын решил завести семью, она была вдовой и полноправной владелицей усадьбы Ишеевых. В 1918 году она лишилась всего движимого и недвижимого имущества. Последние годы жизни она доживала в семье своей дочери Марии, умерла и похоронена в городе Тамбове.

Трагически закончился брак Василия и Екатерины Ишеевых, а вот судьба дома, полученного ими в качестве свадебного подарка от М.В. Асеева, оказалась более удачной, чем судьба его владельцев. В начале 20-х годов в нем располагался губернский военный комиссариат, позже перестроенное здание было заселено жильцами. Самая

большая реконструкция этого дома произошла в конце 60-х годов. Тогда был достроен третий этаж и дом принял сегодняшний вид.

На рис. 5 представлена визуализация вида сверху виртуальной модели улицы Лермонтовской, а на рис. 6 - визуализация вида виртуальной модели флигеля княгини Ишеевой в г. Тамбове на ул. Лермонтовской.



Рис. 5. Визуализация вида сверху виртуальной модели улицы Лермонтовской



Рис. 6. Визуализация вида виртуальной модели флигеля княгини Ишеевой
в г. Тамбове на ул. Лермонтовской

На рис. 7 представлена визуализация виртуальной модели доходных домов Асеева на ул. Араповской, а на рис. 8 - визуализация вида виртуальной модели внутреннего двора доходных домов на ул. Араповской.



Рис. 7. Визуализация вида виртуальной модели доходных домов Асеева на ул. Араповской



Рис. 8. Визуализация вида виртуальной модели внутреннего двора доходных домов на Араповской (совр. ул. Максима Горького)

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-18-00044 «Анализ исторических процессов памятных мест Тамбовского края, связанных с пребыванием в них известных деятелей России, с использованием технологии виртуального моделирования»).

Список использованных источников

1. Тамбовская энциклопедия. – Тамбов: Администрация Тамбовской области, Тамбов: ООО «Издательство «Юлис», 2004. С. 43,44.

2. Яковлев, Е.А. Ярмарка. Исторический роман в 5-ти частях. – Тамбов: Книжное издательство Яковлева Е.А. , 1994 г. 156 с.

3. Nemtinov, V.A. Visualization of a virtual space and time model of an urban development territory / V.A. Nemtinov, A.A. Gorelov, Y.V. Nemtinova, and A.B. Borisenko // *Scientific Visualization*, 2016. vol. 8, no. 1, pp. 120–132.

4. Nemtinov, V.A. Implementation of technology for creating virtual spatial-temporal models of urban development history/ V.A. Nemtinov, A.A. Gorelov, Y.V. Nemtinova, and A.B. Borisenko // *Scientific Visualization*, 2018. vol. 10, no. 3, pp. 99–107.

5. Двухжилова, И.В. Информационные ресурсы Тамбовского центра краеведения / И.В. Двухжилова, Г.П. Пирожков // *Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики*. 2013. №4-1. С. 65-69.

6. Немтинов, В.А. Информационные технологии при создании пространственно-временных моделей объектов культурно-исторического наследия: монография / В.А. Немтинов А.А. Горелов, П.А. Острожков, Ю.В. Немтинова и др.; М-во обр. и науки РФ, ФГБОУ ВПО «ТГТУ». Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2013. 216 с.

7. Немтинов, В.А. Технология создания пространственных моделей территориально распределенных объектов с использованием геоинформационных систем /Немтинов В.А., Манаенков А.М., Морозов В.В., Немтинов К.В. // *Информационные технологии*. 2008. № 8. С. 23-25.

8. Немтинов, В.А. Пространственно-временная модель объекта культурно-исторического наследия / В.А. Немтинов, А.А. Горелов, П.А. Острожков и др. // *Информационные технологии*. 2010. № 7. С. 36 –39, обложка.

9. Немтинов, В.А. Методологические основы ретроспективного анализа объектов исторического и культурного наследия с использованием информационных технологий. / Немтинов В.А., Горелов А.А. // *Клио*. 2008. № 1. С. 3-8.

10. Немтинов, В.А. Моделирование объектов культурно-исторического наследия - основа клиометрических исследований / Немтинов В.А., Горелов А.А. // *Клио*. 2010. № 4. С. 3-7.

11. Немтинов, В.А. Информационный анализ объектов культурного наследия с использованием ГИС-технологий / В.А. Немтинов, А.А.Горелов, К.В. Немтинов и др./ *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2005. Т. 11. № 4. С. 1001 – 1012.

12. Немтинов, В.А. Виртуальное моделирование объектов культурно-исторического наследия с использованием ГИС-технологий /В.А. Немтинов, В.В. Морозов, А.М. Манаенков / *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2011. Т. 17. № 3. С. 709-714.

13. Горелов, И.А. Компьютерные технологии при решении вопросов развития территорий городских муниципальных образований / И.А. Горелов, В.А. Немтинов // *Информационное общество*. 2014. № 1. С. 49-54.

УДК 004.946

Неверова С.Ю., Архипов А.Е., Обухов А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: s.newerowa2018@yandex.ru

**СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ВОКЗАЛА – ИСТОРИЧЕСКОГО И АРХИТЕКТУРНОГО ПАМЯТНИКА
ГОРОДА ТАМБОВА**

Neverova S.IU., Arkhipov A.E., Obukhov A.D.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: s.newerowa2018@yandex.ru

**CREATING A 3D-MODEL OF A RAILWAY STATION BUILDING
A HISTORICAL AND ARCHITECTURAL MONUMENT OF THE TOWN
OF TAMBOV**

Аннотация: В статье исследованы особенности создания трехмерной модели исторического и архитектурного памятника города Тамбова с использованием программы для трехмерного моделирования с целью сохранения внешнего вида объекта культурно-исторического наследия на определенный исторический момент времени.

Ключевые слова: объекты культурно-исторического наследия, трехмерное моделирование, здание железнодорожного вокзала города Тамбова.

Abstract: The article explores the features of creating a three-dimensional model of a historical and architectural monument of the city of Tambov using a program for three-dimensional modeling in order to preserve the appearance of an object of cultural and historical heritage at a certain historical moment in time.

Keywords: objects of cultural and historical heritage, three-dimensional modeling, the building of the railway station in the city of Tambov.

Последнее столетие перед человечеством встает вопрос о сохранении памятников культурного наследия. Во второй половине 20 века в России формулировались основные принципы бережного отношения к историческим памятникам. Урбанизация исторических центров городов проявлялась в благоустройстве жилых территорий и в изменении привычного для нас ландшафта, что привело к разрушению многих исторических зданий [1]. Трехмерное моделирование позволяет создать прототип не только будущего сооружения, но и ранее утраченного архитектурного здания [2]. В связи с этим, появляется необходимость в изучении и практическом освоении инструментов трехмерного моделирования определенных объектов.

В работе рассматривается задача сохранения внешнего вида объекта культурно-исторического наследия на определенный исторический момент времени в городе Тамбов на примере трехмерной модели здания железнодорожного вокзала. Решение данной задачи состоит из нескольких этапов.

Первым шагом является изучение инструментов для построения трехмерной графики и 3D-моделирования.

Второй шаг состоит в использовании программного пакета Autodesk Fusion 360 для создания трехмерной модели объекта [3, 4].

Следующий этап – анализ объекта моделирования (здания железнодорожного вокзала г. Тамбова), его исторической ценности, структуры и размеров.

Далее разработана 3D-модель здания железнодорожного вокзала г. Тамбова при помощи программы Autodesk Fusion 360, после чего модель подготовлена к печати на 3D принтере и распечатана.

Особое внимание необходимо уделить объекту моделирования – объекту культурно-исторического наследия. Здание железнодорожного вокзала г. Тамбова является историческим и архитектурным памятником города. 22 декабря 1869 года завершилось строительство железной дороги Козлов–Тамбов протяженностью в 74 версты и возведение здания железнодорожного вокзала в г. Тамбове. Как правило, на одной железнодорожной ветке возводились однотипные вокзалы с высокими часовыми башнями на главном и торцевых фасадах [5]. Центральная часть тамбовского вокзала представляла собой двухэтажный объем, в котором располагались вестибюль и кассы; в боковых одноэтажных крыльях – залы ожидания; в центральной части северного и южного торцевого фасада – часовые башни (рис. 1).

Вокзал стал тем зданием, с которого начиналось знакомство с Тамбовом. Глядя на дореволюционные фотографии (рис. 2), видно, что в основу его композиции был положен образ крепости: фасад со стороны железной дороги имитировал каменные стены и башни, отсылавшие к начальной истории города-крепости (сейчас, в результате надстройки, этот выразительный образ, а также множество деталей, обогащавших архитектуру, были утрачены).



Рис. 1. Тамбовский вокзал со стороны города [6]

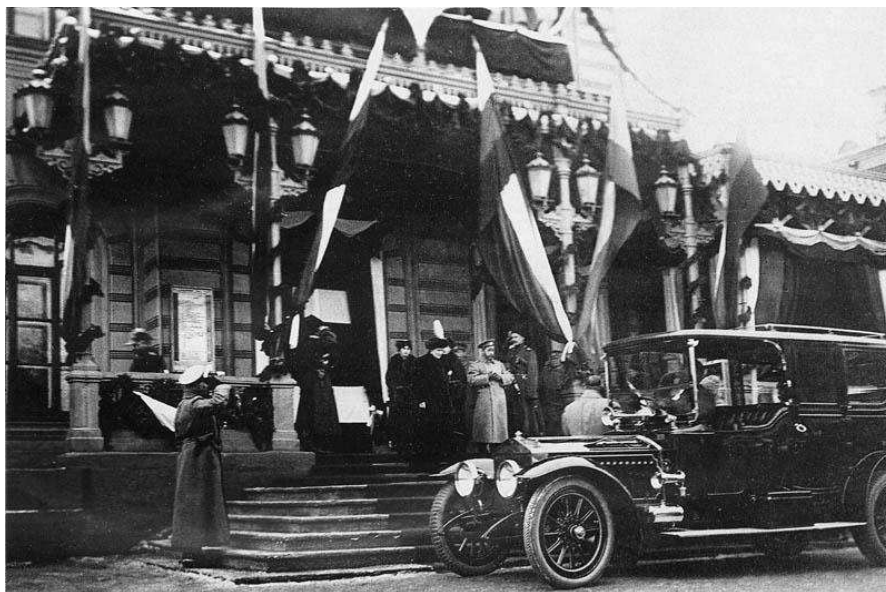


Рис. 2. Императорская семья выходит из здания вокзала (фото 7 декабря 1914 г.) [7]

При моделировании использовался вид железнодорожного вокзала Тамбова до его реконструкции 2018 года (рис. 3 и 4). Для построения 3d-модели здания железнодорожного вокзала Тамбова необходимо определить его габаритные размеры. В открытом доступе такой информации найти не удалось, однако, приближенные к реальным данные были получены при помощи специалиста по истории архитектуры г. Тамбова, краеведа Александра Алексеевича Горелова.

В результате моделирования был построен следующий трехмерный объект (рис. 5).



Рис. 3. Вид железнодорожного вокзала со стороны города Тамбова [8]



Рис. 4. Вид железнодорожного вокзала со стороны железнодорожных путей [9]

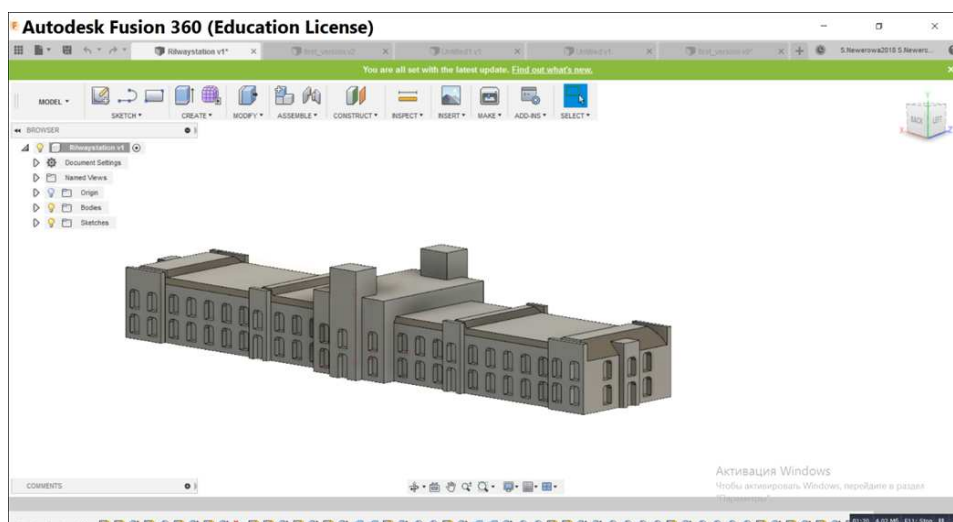


Рис. 5. Трехмерная модель вокзала (в окончательном варианте)

Для экономии пластика, увеличения качества и уменьшения времени печати на 3D принтере созданная 3D-модель здания вокзала разделена на 6 частей (рис. 6).

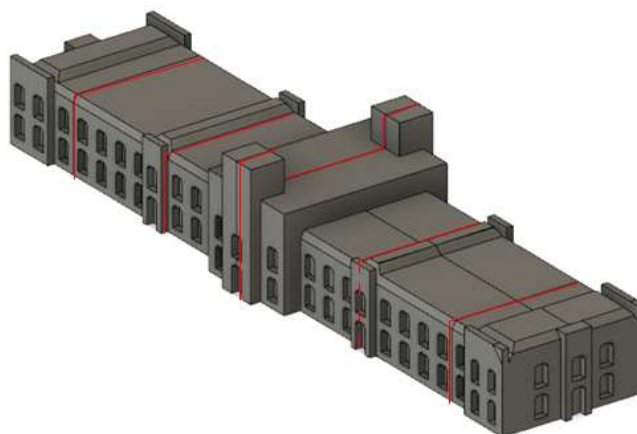


Рис. 6. Трехмерная модель вокзала, подготовленная для печати на 3d-принтере

Один из фрагментов напечатанной 3D модели представлен на рис. 7. Итоговый вариант модели железнодорожного вокзала Тамбова в сборе и с покраской – на рис. 8.



Рис. 7. Секция модели вокзала



Рис. 8. Окончательный вид здания вокзала

Подводя итог исследования, был сделан следующий вывод: трехмерное моделирование памятников истории и архитектуры будет способствовать сохранению архитектурного наследия городов России, так как это лучший способ визуализации, который позволяет рассмотреть объект со всех сторон, в том числе и в рамках конкретного исторического периода.

Практическая значимость работы состоит в том, что трехмерная модель железнодорожного вокзала, являющегося памятником истории и архитектуры г. Тамбова, позволит сохранить внешний вид здания на определенный исторический момент времени, а именно до реставрации 2018 года.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Филатова, А.Ф. Проблема реставрации и сохранение памятников архитектуры // URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF_humanities/11\(39\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_humanities/11(39).pdf) (дата обращения: 27.09.2021)
2. Трехмерное моделирование в современном мире // URL: <https://habr.com/ru/sandbox/103016/> (дата обращения: 27.09.2021)
3. Бобков, И. Autodesk Fusion 360: комплексный подход к цифровому производству // http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19637&print=1 (дата обращения: 27.09.2021)
4. Стремнев, А.Ю. Работа с 3D-моделями в системе Fusion 360 – от концепции до воплощения // CAD/CAM/CAE Observer. - 2016. - № 5.
5. Климова М. Ровно 145 лет назад в Тамбове начали строить железнодорожный вокзал // URL: <https://marina-klimkova.livejournal.com/158356.html> (дата обращения: 26.09.2021)
6. Фото вокзала со стороны железнодорожных путей // URL: <https://selestera.livejournal.com/937742.html> (дата обращения: 26.09.2021)
7. Фото «Императорская семья выходит из здания вокзала. Фото 7 декабря 1914 г.» // URL: https://vk.com/oldtmb?z=photo-60592422_416527423%2Falbum-60592422_181726277%2Frev (дата обращения: 26.09.2021)
8. Фото вокзала до реконструкции 2018 г. // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D0%B2> (дата обращения: 26.09.2021)
9. Фото вокзала со стороны города // URL: <http://heritage.tstu.ru/index.php/ru/informatsiya-k-razdelu?showall=1&limitstart=> (дата обращения: 26.09.2021)

УДК 004.92

Вехтева Н.А., Обухов А.Д., Волков А.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: magician.loner@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ РЕДАКТИРОВАНИЯ И ПЕЧАТИ 3D МОДЕЛЕЙ В BLENDER

Vehteva N. A., Obukhov A.D. , Volkov A.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: magician.loner@yandex.ru

FEATURES OF EDITING AND PRINTING 3D MODELS IN BLENDER

Аннотация: В данной статье описываются некоторые из существующих проблем подготовки 3D моделей для печати на этапе моделирования, а также варианты их исправлений с помощью программы Blender.

Ключевые слова: Blender, 3D печать, высокодетализированные модели, моделирование, модификаторы, скульптинг.

Abstract. This article describes some of the existing problems of preparing 3D models for printing at the modeling stage, as well as options for correcting them using the Blender program.

Keywords: Blender, 3D printing, highly detailed models, modeling, modifiers, sculpting.

Снижение стоимости принтеров для трехмерной печати привело в последние годы к значительному развитию индустрии производства моделей из различных материалов. Распространённость данной технологии позволяет организовать мелкосерийное производство в домашних условиях. Появление LCD (прямая ультрафиолетовая засветка) в доступных для широкой категории потребителей принтеров серии Anycubic photon помогло обеспечить быструю и высокодетализированную печать объектов при достаточно компактном и бюджетном оборудовании [1].

Условно можно разделить процесс 3D печати на следующие этапы: создание 3D модели под печать; добавление необходимых для печати дополнительных элементов конструкций; перевод данных модели в G-код; сам непосредственно процесс печати и дальнейшая обработка (мытьё, сушка, физическая обработка и другие).

Далее в статье будут рассмотрены некоторые проблемы, связанные с моделированием или редактированием моделей. Все действия над 3D моделями осуществлялись в программе Blender – профессиональном свободном и открытом программном обеспечении для создания трёхмерной компьютерной графики, включающим средства моделирования, скульптинга, и другие. Blender достаточно прост в освоении, позволяет

осуществить техническое и художественное моделирование, например, в процессе создания персонажей [2].

После изучения различных моделей и результата их печати были сформулированы основные требования к ним. Все объекты должны иметь замкнутую полигональную сетку, нормали которой развернуты во внешнюю сторону. Тонкие объекты должны быть больше, чем минимально возможная толщина печати слоя. Меш (mesh) не должен размещаться внутри другого меша. То есть, если модель создавалась отдельными деталями, которые вставлены друг в друга, то необходимо выполнить ретопологию модели (сделать топологию еще раз), либо объединить другим способом. Если плоскость состоит больше чем из пяти вершин, то перед экспортом необходимо разбить их на четырехугольники или треугольники, иначе возможны дефекты печати в виде сквозного отверстия по этому полигону. После всех преобразований модель желательно экспортировать в формат STL (информация об объекте хранится как список треугольных граней, которые описывают его поверхность) [2].

С помощью инструментов Blender можно создать любую модель, также много готовых моделей в формате STL. Для изменения исходной .stl модели можно для удобства преобразовать исходную топологию (как именно полигоны формируют модель) в четырехугольную путем ретопологии или модификатора «Remesh», или же редактировать как есть. Для небольших деформаций (например, убрать или прибавить объем, передвинуть деталь и так далее) удобно использовать инструменты скульптурирования такие, как «Перемещение», «Подвес» и «Раздувание».

Некоторые модели представляют собой отдельные части цельного объекта, другие же являются цельным «монолитом». Иногда первые требуется объединить, а вторые, наоборот, разбить на детали.

Для решения первой задачи, то есть объединения, был найден относительно простой способ с использованием инструмента-модификатора Remesh. Сначала необходимо импортировать все детали в одну сцену. Затем, если требуется, нужные детали с помощью инструментов перемещения состыковываются визуально друг с другом в окне 3D просмотра и объединяются. На полученный объект добавляется модификатор Remesh, в его настройках выбирается тип «Воксель» и значение размера вокселя регулируется в зависимости от нужной детализации. Например, для моделей с большим количеством мелких элементов брались значения от 0.005 до 0.1, для более простых моделей уже от 0.1 до 0.3 (Рис. 1). При этом способе дыры, вложенность и пересечение меша исключаются, соединенные части «спаиваются» друг с другом с удалением полигонов. При этом количество полигонов может значительно возрасти настолько, что программы обработки модели под печать просто не смогут открыть модель (например, модель самолета из 18 миллионов четырехугольников созданная в блендере не открылась в редакторах).

Разделение модели на несколько частей требуется, когда заявленные размеры печати больше, чем вместимость принтера. Из-за треугольной полисетки формата STL, это сделать нелегко. В процессе был найден достаточно быстрый способ с использованием

модификатора «Логический». Предварительно необходимо создать объекты, внутри которых будут полностью находится отделяемые части. По их граням, которые пересекают основную модель, будет происходить разрез.

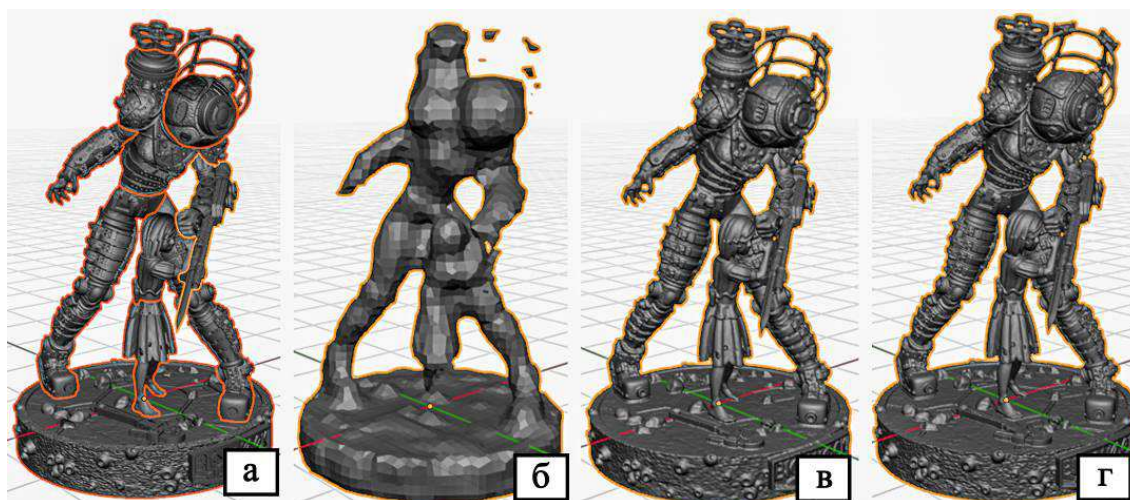


Рис. 1. Примеры объединения деталей моделей: а) оригинал; б) размер вокселя 0.1; в) размер вокселя 0.01; г) размер вокселя 0.005

Например, необходимо было разделить персонажа (Рис. 2а) на 2 части, удобнее всего было сделать разрез на поясе, чтобы при дальнейшей склейке реальных деталей, шов был незаметен (Рис. 2б). Модель куба трансформируем таким образом, чтобы верхняя персонажа часть была полностью в нем. Дублируем куб и назначаем на него модификатор «Логический», в его настройках тип «Пересечение», в поле «Объект» выбираем основную модель. Если результат устраивает, то применяем преобразование, иначе можно добавить предварительно модификатор «подразделение поверхности» с типом алгоритма подразделения «Простое» и увеличить значение параметра «Уровни вьюпорта».

Для основной модели используем также модификатор «Логический», тип «Разница», а объектом теперь будет первая копия куба, меш которой возможно придется также подразделить. После применения всех модификаторов лишний куб удаляется. Добавления деталей, например, для торцевой стыковки добавляются с помощью этих же модификаторов, но вместо пересечения используется объединение (Рис. 2в).

В процессе работы было замечено, что при использовании модификатора «Логический», программа разделяет по шву модель на разные части, что можно увидеть в режиме скульптинга (Рис. 3). Из-за этого бывают пробелы в печати или может отсутствовать деталь, что можно отследить в слайсере. Решается это путем включения и выключения режима «Динамическая топология».



Рис. 2. Разделение модели на части: а) оригинал; б) разделение на 2 части; в) пример разделения

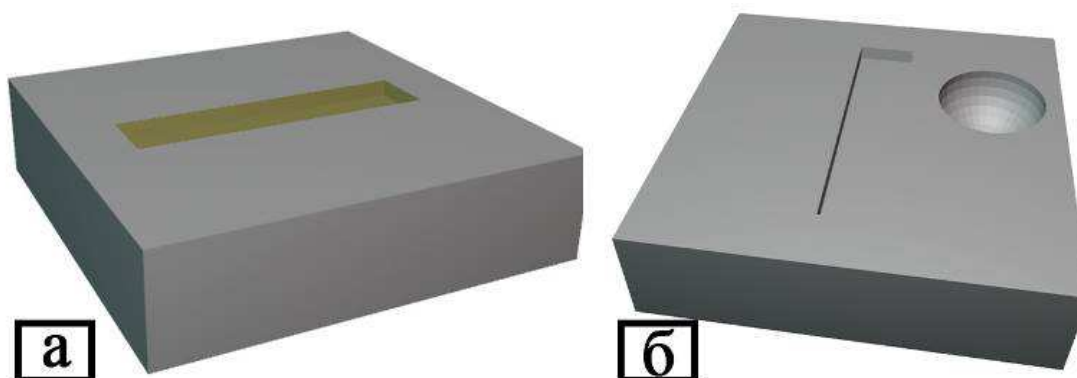


Рис. 3. Результат использования «Разницы» модификатором «Логический»: а) разделение на 2 части; б) корректный результат применения

Рассмотренные особенности процесса моделирования и печати моделей могут использоваться для повышения качества прототипирования и трехмерной печати. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Горьков, Холмогоров: 3D-печать с нуля / Изд-во ВHV, 2020 г. 256 с. ISBN: 978-5-9775-6599-8
2. Мария Серова: Учебник-самоучитель по трехмерной графике в Blender 3D. Моделирование, дизайн, анимация, спецэффекты / Издательство: Солон-пресс, 2021 г. 272 с. ISBN: 978-5-91359-438-9.

УДК 004.9

Рачкова С.А., Мокрозуб В.Г.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИХРОМАТИЧЕСКИХ ГИПЕРГРАФОВ ДЛЯ
ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
УЧРЕЖДЕНИЙ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

Rachkova S. A., Mokrozub V.G.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

**THE USE OF POLYCHROMATIC HYPERGRAPHS FOR THE FORMAL
REPRESENTATION OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS AND SETTLEMENTS**

Аннотация: Для решения задач связанных с распределением денежных ресурсов по школам для их ремонта, определением последовательности ремонта школ, определением места строительства новых школ и др. необходимо формальное представление населенных пунктов и закрепленных за ними школ. В работе предлагается в качестве такого представления использовать полихроматические гиперграфы.

Ключевые слова: школы, населенные пункты, свойства, полихроматические гиперграфы.

Abstract: In order to solve problems related to the distribution of monetary resources to schools for their repair, determining the sequence of school repairs, determining the construction site of new schools, etc., a formal representation of settlements and schools assigned to them is necessary. The paper suggests using polychromatic hypergraphs as such a representation..

Keywords: schools, localities, properties, polychromatic hypergraphs.

В настоящее время школьному образованию уделяется много внимание. Ремонтируются, реконструируются существующие школы и строятся новые. При этом решается множество задач, связанных с распределением денежных ресурсов по школам, определением последовательности ремонта школ, определением места строительства новых школ и др. [1]. Для решения этих задач необходимо формальное представление населенных пунктов и закрепленных за ними школ. В работе предлагается в качестве такого представления использовать полихроматические гиперграфы [2-12].

Рассмотрим закрепление населенных пунктов за школами на примере, представленном на рис. 1.

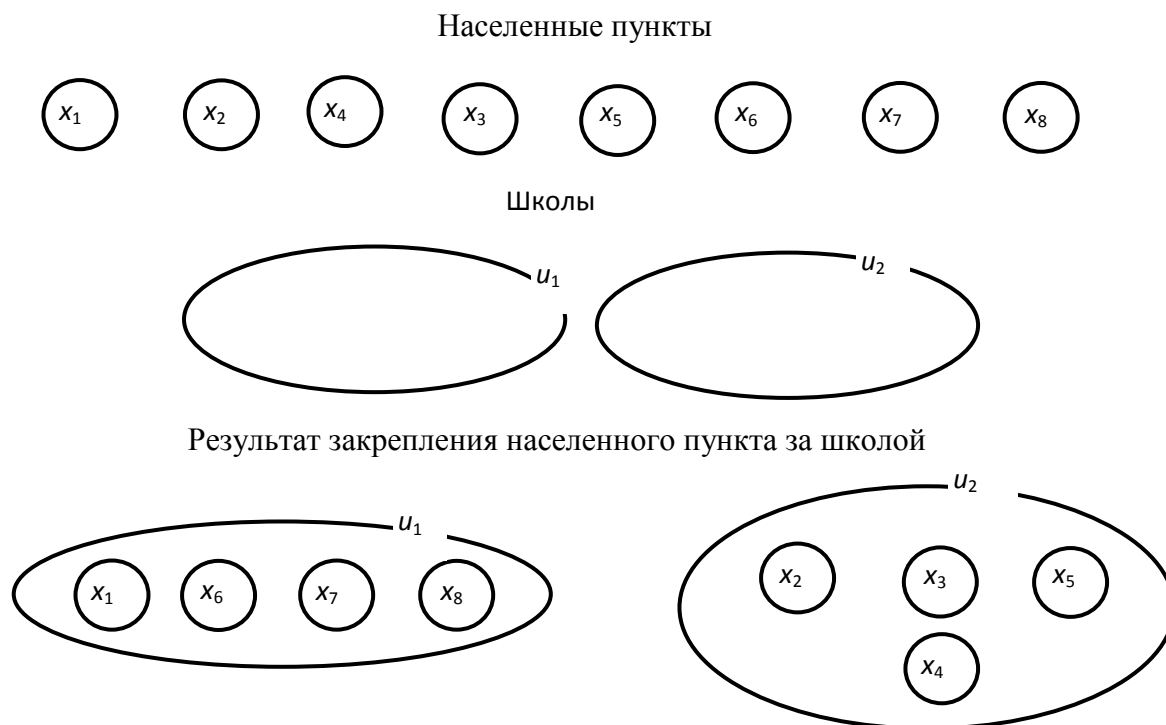


Рис.1. Пример закрепления населенных пунктов за школами

Населенные пункты с их свойствами можно представить в виде полихроматического множества $P = \{x_i, T_i\} i = \overline{1, I}$, где x_i - i -й элемент множества (населенный пункт), T_i - набор свойств i -го элемента множества $T_i = \{t_{i,j}\} i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, t_{i,j}$ - j -ое свойство i -го элемента множества, I - число населенных пунктов, J – число свойств каждого населенного пункта. Свойства населенных пунктов – географические координаты, число детей школьного возраста и др.

Школы можно представить полихроматическим множеством $S = \{u_k, F_k\}, k = \overline{1, K}$, где u_k - k -й элемент множества (школа), F_k - набор свойств k -го элемента множества $F_k = \{f_{k,n}\}, k = \overline{1, K}, n = \overline{1, N}, f_{k,n}$ - n -ое свойство k -го элемента множества, K - число школ, N – число свойств каждой школы. Свойства школы – географические координаты, мощность и др.

Гиперграф $PS = \{P, S\}$, где $P = \{x_i, T_i\}, i = \overline{1, I}$ - вершины графа (населенные пункты) и $S = \{u_k, F_k\}, k = \overline{1, K}$ - гиперребра графа (школы), обозначим причём $u_k(X1_k)$ - множество населенных пунктов закрепленных за школой $u_k, X1_k \subset X u_k$.

Рассмотренное представление позволяет описать населенные пункты и школы независимо от типа выбранной базы данных для решения таких задач, как расчет доступ-

ности школы для заданных населенных пунктов, расчет доступности школ для заданного населенного пункта, определение места строительства новой школы и др.

Список использованных источников

1. В. Г. Мокрозуб, С. А. Рачкова, Ф. И. Вшивков. Системный анализ поддержки принятия решений при проектировании сети общеобразовательных школ / Вестник ТГТУ. 2020. Том 26. № 3. С. 363-370.
2. Павлов, В.В. Полихроматические графы в теории систем / В.В.Павлов // Информационные технологии. – 1998. – №6. – С. 2 – 9.
3. Мокрозуб, В.Г. Графовые структуры и реляционные базы данных в автоматизированных интеллектуальных информационных системах / В.Г.Мокрозуб М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 108 с.
4. Немтинов, К.В., Ерусланов А.К., Немтинов В.А. Технология автоматизированного синтеза сложных технологических комплексов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 75–83.
5. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я.Егоров, П.И.Пахомов // Информационные технологии. -2009. № 10. - С. 34-38.
6. Мокрозуб, В.Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов //Химическое и нефтегазовое машиностроение.- 2015. № 7. -С. 31-34. 5.
7. Немтинов, В.А. О подходе комплексного использования информационных технологий для исследования химико-технологических объектов/ В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова, А.А. Пчелинцева, А.М. Манаенков // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013, № 5 (107). С. 28-33.
8. Немтинов В.А. Немтинова Ю.В. Об оценке эффективности инвестиционной деятельности при размещении химических производств. // Вестник Тамбовск. госуниверситета. – 2002. – Т. 8, № 2. - С. 375 – 382.
9. Пахомов, П.И. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями/ П.И. Пахомов, В.А. Немтинов. Москва, 2009. 123 с/
10. Мокрозуб, В.Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 3. С. 68-73.
11. Mokrozub, V.G. An approach to smart information support of decision-making in the design of chemical equipment / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Т. 51. № 7. С. 487-492.
12. Немтинов, В.А. Использование интернета при информационной поддержке принятия решений по управлению промышленным предприятием / В.А. Немтинов, А.М. Манаенков, В.В. Морозов, Е.С. Егоров // Прикладная информатика. 2010. № 4 (28). С. 8-12.

УДК 004.9

Рачкова С.А., Мокрозуб В.Г.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ДЖИНИ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОСТУПНОСТИ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Rachkova S. A., Mokrozub V.G.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

USING THE MODIFIED GINI COEFFICIENT TO CALCULATE THE ACCESSIBILITY OF GENERAL EDUCATION ORGANIZATIONS

Аннотация: Описан метод расчета доступности школ, базирующийся на модифицированном коэффициенте Джини.

Ключевые слова: пространственная доступность, общеобразовательные школы, место строительства

Abstract: A method for calculating school accessibility based on a modified Gini coefficient is described.

Keywords: spatial accessibility, secondary schools, construction site

Подход к решению задачи оптимизации сети общеобразовательных школ по критерию суммарной стоимости школ описан в работе [1]. Одним из критериев определения необходимости строительства новой школы и ее местоположения может быть определение пространственной доступности функционирующих общеобразовательных организаций на основе модифицированной гравитационной модели, предложенной Калогирю и Фоули [2-5] для вычисления меры пространственной доступности государственных медицинских учреждений Ирландии и Греции

Пространственная доступность один из критериев, по которому можно оценить оптимальность расположения существующих и строящихся школ.

Обозначим:

i – номер школы; I – число школ в районе;

$MSH = \{msh_i, i = \overline{1, I}\}$ – мощности школ, msh_i – мощность i -ой школы, чел;

$KSH = \{ksh_i, i = \overline{1, I}\}$ - географические координаты школ, ksh_i - координаты i -ой школы, $ksh_i = \{kshs_i, kshd_i\}$, $kshs_i$ - широта i -ой школы, град., $kshd_i$ - долгота i -ой школы, град.;

j - номер населенного пункта; J – число населенных пунктов в районе;

$KNP = \{knp_j, j = \overline{1, J}\}$ - географические координаты населенных пунктов, knp_j - координаты j -го населенного пункта, $knp_j = \{knps_j, knpd_j\}$, $knps_j$ - широта j -го населенного пункта, град., $knpd_j$ - долгота j -го населенного пункта, град.;

$DT = \{dt_j, j = \overline{1, J}\}$ - число детей школьного возраста, проживающих в населенных пунктах, dt_j - число детей, школьного возраста, проживающих в j -ом населенном пункте;

$nps_i = \{k, k \in \overline{1, J}\}$ - населенные пункты, обслуживаемые i -ой школой;

$r_{i,j}$ - расстояние между i -ой школой и j -ым населенным пунктом, км

$$r_{i,j} = 6371 \times (\alpha \cos(\sin(knps_j) \times \sin(kshs_i) + \cos(knps_j) \times \cos(kshs_i) \times \cos(knpd_j - kshd_i)))$$

$$r_{i,j} = 0.5, \text{ если } r_{i,j} < 0.5,$$

Пространственную доступность i -ой общеобразовательной организации $dost_i$ (модифицированный коэффициент Джини) для населенных пунктов, прикрепленных к ней, рассчитывается по выражению (1).

$$dost_i = \sum_{k \in \{1, J\}} \frac{msh_k}{dt_k \times r_{kj}^2} \quad dost_i = \sum_{k \in \{1, J\}} \frac{msh_i}{dt_k \times r_{k,i}^2} \quad (1)$$

Список использованных источников

1. Мокрозуб, В. Г., Рачкова, С. А., Вшивков, Ф.И. Системный анализ поддержки принятия решений при проектировании сети общеобразовательных школ / Вестник ТГТУ. 2020. Том 26. № 3. С. 363-370.
2. Kalogirou S., Foley R. Modelling Accessibility to General Hospitals in Ireland GIS Research UK, 2005, pp. 21-26.
3. Nemtinov, V.A. Visualization of a virtual space and time model of an urban development territory / V.A. Nemtinov, A.A. Gorelov, Y.V. Nemtinova, and A.B. Borisenko // Scientific Visualization, 2016. vol. 8, no. 1, pp. 120–132.
4. Немтинов, К.В., Ерусланов А.К., Немтинов В.А. Технология автоматизированного синтеза сложных технологических комплексов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 75–83.
5. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я.Егоров, П.И.Пахомов // Информационные технологии. -2009. № 10. - С. 34-38.

УДК004.588

Свешников А. Ю., Обухов А.Д.

¹ Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: artlinden99@gmail.com

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭКСКУРСИЙ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Sveshnikov A. Y., Obukhov A. D.

¹ Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: artlinden99@gmail.com

RELEVANCE OF THE USING INTERACTIVE VIRTUAL EXCURSION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Аннотация: В данной статье описана проблема ориентирования в стенах университета студентов первого курса при начале их обучения. Рассмотрено решение данной проблемы за счет интерактивной виртуальной экскурсии и технологий 3D моделирования.

Ключевые слова: высокодетализированные модели, моделирование, виртуальная экскурсия, Source, адаптация.

Abstract. This article describes the problem of orientation within the walls of the university of first-year students at the beginning of their studies. The solution to this problem of interactive excursion and 3D modeling technologies is considered.

Keywords: highly detailed models, modeling, virtual tour, Source, adaptation.

Вступление в студенческую жизнь для большинства абитуриентов на протяжении всего существования университетов было совокупностью непростых задач. Социальная адаптация, смена режима дня, смена рабочего ритма и множество других факторов – всё это превращает первые пару недель в настоящее испытание на стрессоустойчивость.

Одним из важных компонентов данного набора задач является понимание географического устройства университета – расположения корпусов на карте города, транспортная связь между ними, расчётное время, за которое можно добраться от одного здания до другого. Помимо этого, огромную роль играет внутреннее устройство каждого здания в отдельности.

Для ориентирования в зданиях присутствуют определённые стандарты и нормы, призванные устранить различные проблемы. Одной из таких норм является наименование кабинетов, которое как правило представляет из себя набор цифр, первая из которых обозначает этаж, где нужно искать аудиторию. Однако в связи с различными пристройками и специфичными особенностями строительства некоторых зданий данная система иногда даёт сбой, приводя к проблемам с поиском и увеличением времени, за-

траченного на него. Второй распространённой проблемой является то, что порой в зданиях для человека, попавшего в него первый раз является загадкой логика расстановки важных для него помещений, довольно часто не имеющих порядкового номера (например – столовая или гардероб).

У данной проблемы есть множество путей решения: установка большой карты-плана в главном холле здания, метки на паркете с направляющими линиями – все эти методы помогают ориентироваться уже находясь в текущем пространстве, однако, этого недостаточно.

Опросы некоторой контрольной группы первокурсников показывают, что данная категория людей испытывает сильный эмоциональный стресс, так как первые недели их пребывания в университете являются самыми важными по мнению их и их родителей, ведь именно в этот период они должны зарекомендовать себя с лучшей стороны, так как исправить свою репутацию в дальнейшем будет уже сложнее. По мнению опрошенных первокурсников, одним из важных критериев создания хорошего образа является демонстрация пунктуальности. Большинство бывших абитуриентов не хочет показать себя любителями опоздать в первые же дни занятий.

По причине сильной эмоциональной нагрузки хорошим вариантом будет сбавить часть этой самой нагрузки полностью. Незнакомая планировка помещений является важной частью эмоционального давления, сбавить которое можно только одним способом – дать первокурснику почувствовать себя в месте, в котором он уже неоднократно бывал. Именно так звучит задача, решение которой будет описано далее.

Одним из лучших решений для подобной задачи является 3d модель здания с полной внутренней отделкой, доступная для исследования в виде экскурсии с имитацией живого перемещения.

Виртуальная 3d модель внутренней планировки здания имеет несколько существенных преимуществ как перед способами, указанными выше, так и в целом. Первое преимущество – непрерывность контента. Пользователь может воспринимать её как единое целое – как правило дезориентации на местности не возникает, потому что связь с местом, которое было рассмотрено ранее не теряется. Таким образом непрерывность исследования модели может восприниматься как аналог перемещения по зданию, имитируя прохождения путей реальным человеком.

Второе важное преимущество – уточнённая детализация и расстановка акцентов на каких-либо объектах внутри здания. Акценты — это крайне важная вещь с точки зрения психологии. Многие студенты отмечают, что очень хорошо запоминали какие-то места совершенно случайно по каким-либо уникальным деталям, например, такой деталью может являться отличная от типовых табличка, которая по какой-либо причине поменяла цвет фона или текста. 3d модель является отличным инструментом для расставления различных акцентов. Дизайнеры и проектировщики уровней в компьютерных играх вывели большинство данных приёмов в полноценные наборы методов. Одним из больших разделов подобных методов является направленное освещение. Данные методы подразумевают игру со светом – естественный или искусственный направленный свет, который выбивается из общей картинке позволяет ненавязчиво подсвечи-

вать определённые важные места, на которые стоит обратить внимание. Местом, на которое стоит указать, например, может являться несостыковка номеров кабинетов друг с другом, вызванная перепланировкой или перестройкой некоторого участка здания. Данные проблемные места выявляются путём опроса студентов – как правило их недовольства довольно часто сходятся.

Третье важное преимущество – это маршрут исследования модели, который для пользователя надо задать вручную ещё на этапе проектирования. Дать пространственную модель пользователю для исследования недостаточно – он просто не поймёт, что с ней делать и в конечном счёте посмотрев пару минут благополучно о ней забудет. Умный маршрут должен включать в себя все важные объекты для пользователя (в данном случае для первокурсника), а также имитировать его маршрут в действительности, предугадывая его возможное любопытство. Данные примерные маршруты будут получены тем же самым путём – опросом поступивших студентов, у которых ещё остались достаточно свежие воспоминания.

Исходя из описанного выше, можно сделать вывод, что 3d модель должна не просто существовать как объект, но и иметь в себе функционал для имитации перемещения живого пользователя по территориям, а также желательно включать в себя инструменты для взаимодействия с моделью. Одним из самых успешных способов имитации присутствия человека в мире трёхмерных моделей являются компьютерные игры. Именно с помощью постановки созданной модели на движок компьютерной игры можно добиться максимального погружения и лучшего ориентирования пользователя внутри пространства, что приведёт к лучшему опыту исследования новой территории и нюансов помещений на ней расположенных.

Приложение, которое объединит в себе всё, что было описано выше должно также быть максимально доступно для конечного пользователя. Необходимо не просто создать 3d модель всех помещений университета и поставить её на полноценный движок, но и продумать доставку данного приложения. Для этого будет отличным решением создать подраздел для сайта университета, на котором будет выложена подробная инструкция по настройке и установке приложения, которая была бы понятна каждому человеку вне зависимости от его навыков.

Таким образом данный способ станет приемлемым и доступным решением поставленной выше задачи дать первокурснику почувствовать себя в месте, в котором он уже неоднократно бывал путём создания приложения, позволяющего провести виртуальную 3d экскурсию с определённым и грамотно составленным маршрутом, учитывающим все особенности местности, выявленные путём опроса студентов университета.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Федорова, Е.Е.: Адаптация студентов к учебно-профессиональной деятельности : [научно-методическое пособие] / Е. Е. Федорова. - Миасс :Геотур, 2007. - 76 с.
2. Бекмаханова, К.Е. Проблема психологической адаптации студентов / К. Е. Бекмаханова. - Алма-Ата : о-во «Знание» КазССР, 1983. - 24 с.; 21 см.

УДК 004.021

Немтинов В.А., Борисенко А.Б., Трюфилькин С.В., Морозов В.В., Немтинов К.В.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: kafedra@mail.tstu.ru

**КАРТА ПАМЯТНЫХ МЕСТ В ТАМБОВСКОМ КРАЕ, СВЯЗАННЫХ С
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ТОВАРИЩЕСТВА «БРАТЯ НОБЕЛЬ»**

Nemtinov V.A., Borisenko A.B., Tryfilkin S.V., Morozov V.V., Nemtinov K.V.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: kafedra@mail.tstu.ru

**MAP OF MEMORABLE PLACES IN THE TAMBOV REGION RELATED TO
THE ACTIVITIES OF THE NOBEL BROTHERS PARTNERSHIP**

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы создания виртуальных моделей памятных мест, связанных с деятельностью товарищества «Братья Нобель» в Тамбовском крае. Модели созданы на основе планов проектов складов и разрешительных документов на строительство. При разработке моделей использованы: программные среды 3D-моделирования (Google SketchUp, Blender), система для создания трёхмерных виртуальных миров Twinmotion, программа для создания виртуального тура 3D Vista Virtual Tour.

Ключевые слова: информационный анализ, виртуальные модели территорий памятных мест, связанных с деятельностью товарищества «Братья Нобель» в Тамбовском крае.

Abstract. The article discusses the issues of creating virtual models of memorable places associated with the activities of the Nobel Brothers partnership in the Tambov Region. The models are based on warehouse project plans and construction permits. When developing models: 3D modeling software environments (Google SketchUp, Blender), a system for creating three-dimensional virtual worlds Twinmotion, a program for creating a virtual tour 3D Vista Virtual Tour were used.

Keywords: information analysis, virtual models of the territories of memorable places associated with the activities of the Nobel Brothers partnership in the Tambov Region.

Династия Нобелей оказала существенное влияние на становление и развитие российской нефтяной промышленности. Братья Людвиг, Роберт и Альфред учредили компанию «Товарищество нефтяного производства братьев Нобель» в 1879 году. В 1892 году Людвиг Нобель скончался, его наследником стал сын – Эммануил. До 1918 года Товарищество оставалась самой крупной нефтяной компанией в Российской империи.

Появление складов фирмы Нобелей в Тамбовской губернии относится к началу XX века. Однако керосин «Товарищества» поставлялся на Тамбовщину фактически с самого начала её деятельности, через систему крупных базовых хранилищ [1]. Торговлю же осуществляли местные предприниматели.

Изучая информацию о числе складов фирмы Нобелей в Тамбовской губернии, А. С. Чернов обратил внимание, что в разных источниках оказываются разные цифры. Тщательный анализ имеющихся материалов, в том числе и представленной карты (см. рис. 1), позволил автору сделать вывод, что «В итоге мы имеем данные о десяти тамбовских складах «Бр. Нобель» [1]. При этом 9 принадлежали самому «Товариществу» (в городах Тамбове, Липецке, Усмани, Кирсанове и Моршанске, на железнодорожных станциях Грязи, Торбеево, Платоновка, Пушкири), а один (в городе Козлове) был арендован.

Все населенные пункты являлись центрами уездов: посёлок Грязи входил в Липецкий уезд, Торбеево – в Спасский, Платоновка и Пушкири – в Тамбовский. Подъездные железнодорожные пути связывали перечисленные станции с разными регионами страны. На рис. 1 приведена карта с указанием расположения складов товарищества «Бр. Нобель» на территории России.



Рис. 1. Карта с указанием расположения складов товарищества «Бр. Нобель» на территории России

В данной работе авторами рассмотрены вопросы виртуальной реконструкции объектов, связанных деятельностью товарищества «Бр. Нобель» в Тамбовском крае. Технология создания виртуального пространства описана авторами в работах [2 - 11].

Авторам удалось обнаружить информацию о трех складах нефтепродуктов, расположенных вблизи станций: «Платоновка», «Липецк» и «Усмань».

«Платоновка» (1870) – железнодорожная станция Юго-Восточной железной дороги на линии Тамбов–Ртищево находилась вблизи довольно крупного промышленного села Рассказово (сейчас – город), поэтому расположение склада «Товарищества» было це-

лесообразно. На рис. 2 приведен план проекта товарищества «Бр. Нобель», а на рис. 3 - визуализация фрагмента виртуальной модели нефтяного склада.



Рис. 2. Визуализация плана проекта товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Платоновка»



Рис. 3. Визуализация фрагмента виртуальной модели нефтяного склада товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Платоновка»

Станции «Липецк» (1868) и «Усмань» (1868) также относятся к Юго-восточной железной дороге. На рис. 4 приведена визуализация фрагмента виртуальной модели нефтяного склада товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Липецк», а на рис. 5 - визуализация разрешительного документа на строительство нефтяного склада.



Рис. 4. Визуализация фрагмента виртуальной модели нефтяного склада товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Липецк»

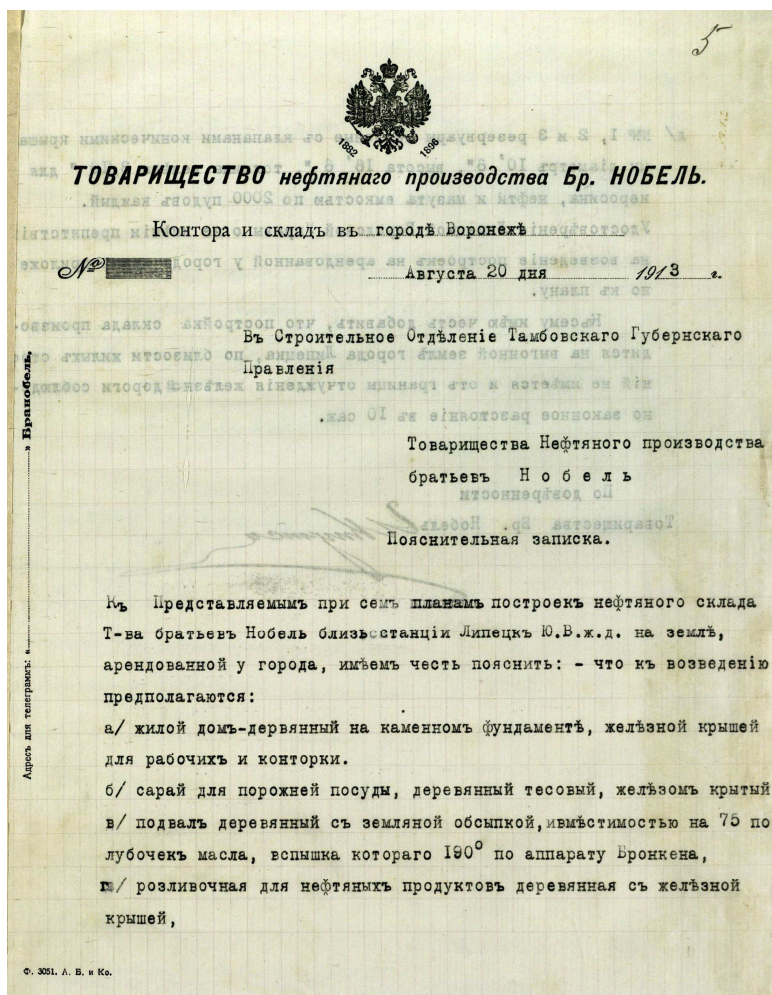


Рис. 5. Визуализация разрешительного документа на строительство нефтяного склада товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Липецк»

На рис. 6 приведена визуализация фрагмента виртуальной модели нефтяного склада товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Усмань», а на рис. 7 - визуализация разрешительного документа на строительство нефтяного склада.



Рис. 6. Визуализация фрагмента виртуальной модели нефтяного склада товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Усмань»

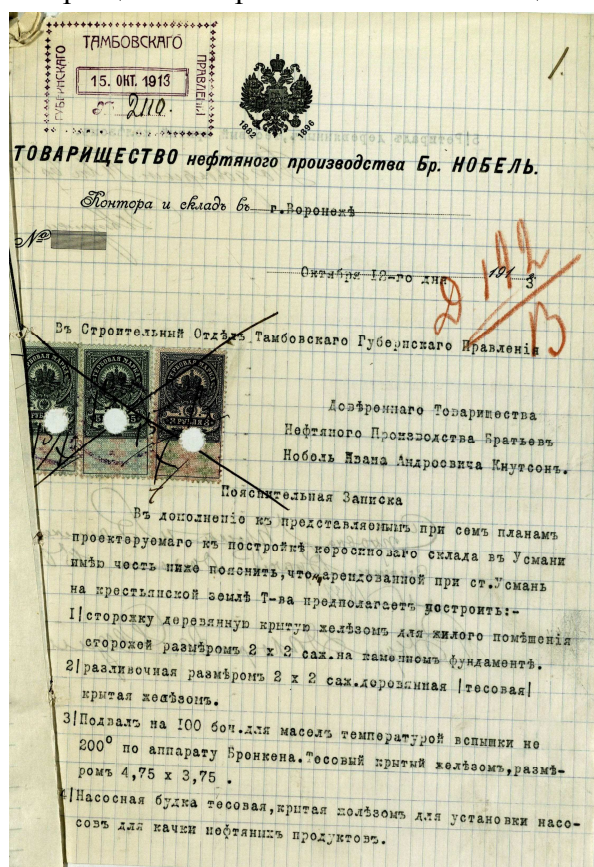


Рис. 7. Визуализация разрешительного документа на строительство нефтяного склада проекта товарищества «Бр. Нобель» близ станции «Усмань»

Информационный анализ деятельности братьев Нобель в Тамбовском крае с привлечением архивных источников показал, что нефтехранилища «Товарищества нефтяного производства братьев Нобель» на железнодорожных станциях «Платоновка», «Липецк», «Усмань» можно рассматривать в качестве исторически значимых мест.

С помощью разработанной системы можно проводить виртуальные экскурсии. Уникальность таких экскурсий заключается в том, что виртуальная реальность способна погрузить посетителя в различные временные эпохи и продемонстрировать не только современное состояние исторических объектов на различных этапах их существования, но и неосуществленные проекты, исчезнувшие архитектурные памятники, утраченные либо частично разрушенные исторические объекты. Ниже указаны ссылки страницы информационного ресурса, на котором размещены виртуальные нефтехранилища «Товарищества нефтяного производства братьев Нобель» на железнодорожных станциях «Платоновка», «Липецк», «Усмань»:

- склад товарищества «Бр. Нобель», станция «Платоновка»



- склад товарищества «Бр. Нобель», станция «Липецк»



- склад товарищества «Бр. Нобель», станция «Усмань»



Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-18-00044 «Анализ исторических процессов памятных мест Тамбовского края, связанных с пребыванием в них известных деятелей России, с использованием технологии виртуального моделирования»).

Список использованных источников

1. Чернов, А. Нобели: взгляд из старого Тамбова. – 2-е изд., испр. и доп. / Междунар. Информ. Нобелев. Центр; под ред. и с предисл. проф. В. М. Тютюнника. – Тамбов; Москва; Санкт-Петербург; Баку; Вена; Гамбург; Стокгольм: изд-во МИНЦ «Нобелистика». 2017. 352 с.
2. Nemtinov, V.A. Visualization of a virtual space and time model of an urban development territory / V.A. Nemtinov, A.A. Gorelov, Y.V. Nemtinova, and A.B. Borisenko // Scientific Visualization, 2016. vol. 8, no. 1, pp. 120–132.

3. Nemtinov, V.A. Implementation of technology for creating virtual spatial-temporal models of urban development history/ V.A. Nemtinov, A.A. Gorelov, Y.V. Nemtinova, and A.V. Borisenko // *Scientific Visualization*, 2018. vol. 10, no. 3, pp. 99–107.

4. Двухжилова, И.В. Информационные ресурсы Тамбовского центра краеведения / И.В. Двухжилова, Г.П. Пирожков // *Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики*. 2013. №4-1. С. 65-69.

5. Немтинов, В.А. Информационные технологии при создании пространственно-временных моделей объектов культурно-исторического наследия: монография / В.А. Немтинов А.А. Горелов, П.А. Острожков, Ю.В. Немтинова и др.; М-во обр. и науки РФ, ФГБОУ ВПО «ТГТУ». Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2013. 216 с.

6. Немтинов, В.А. Технология создания пространственных моделей территориально распределенных объектов с использованием геоинформационных систем /Немтинов В.А., Манаенков А.М., Морозов В.В., Немтинов К.В. // *Информационные технологии*. 2008. № 8. С. 23-25.

7. Немтинов, В.А. Пространственно-временная модель объекта культурно-исторического наследия / В.А. Немтинов, А.А. Горелов, П.А. Острожков и др. // *Информационные технологии*. 2010. № 7. С. 36 –39, обложка.

8. Немтинов, В.А. Методологические основы ретроспективного анализа объектов исторического и культурного наследия с использованием информационных технологий. / Немтинов В.А., Горелов А.А. // *Клио*. 2008. № 1. С. 3-8.

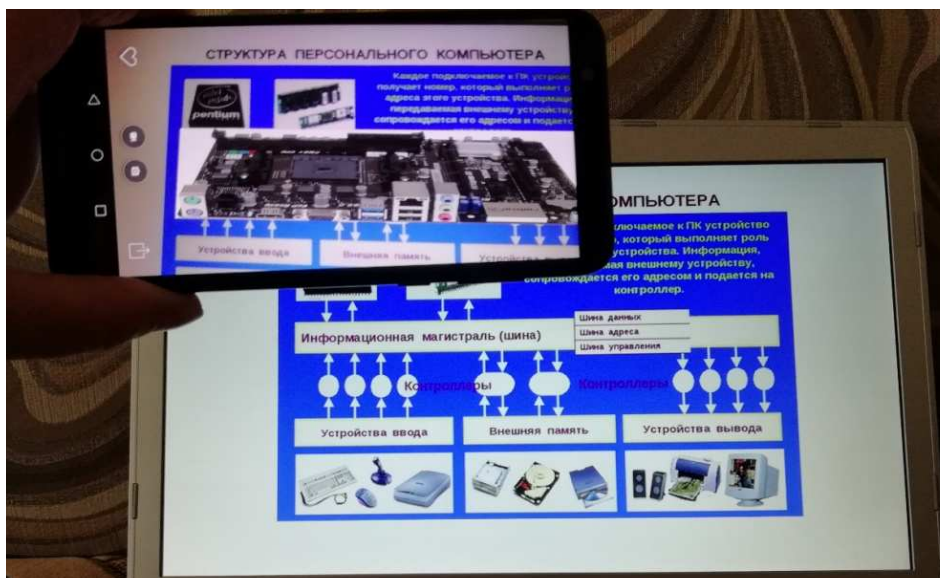
9. Немтинов, В.А. Моделирование объектов культурно-исторического наследия - основа клиометрических исследований / Немтинов В.А., Горелов А.А. // *Клио*. 2010. № 4. С. 3-7.

10. Немтинов, В.А. Информационный анализ объектов культурного наследия с использованием ГИС-технологий / В.А. Немтинов, А.А.Горелов, К.В. Немтинов и др./ *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2005. Т. 11. № 4. С. 1001 – 1012.

11. Мокрозуб, В.Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // *Информационные технологии в проектировании и производстве*. 2010. № 3. С. 68-73.

Секция

ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЯМИ: СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ



УДК 004.58, 004.051

Ковалев Ю. А.

¹ Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета,
Россия, г. Муром
e-mail: yurko02@mail.ru

**РАСПОЗНАВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАСШТАБНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА
ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНЫХ БАРКОДОВ**

Kovalev Y. A.

¹ Murom Institute of Vladimir State University, Russia, Murom
e-mail: yurko02@mail.ru

**RECOGNITION OF SPATIAL DATA USING SCALE AND TIME
PARAMETERS BASED ON THREE-DIMENSIONAL BARCODES**

Аннотация: в рамках работы рассмотрен набор алгоритмов, которые позволяют прийти к пространственной обработке объектов за разные временные промежутки и на разных масштабах. Приведенный набор алгоритмов позволяет идентифицировать различные искусственные и природные объекты, такие как: здания, водоемы, газовые подрывы и т.д. Тестирование алгоритмов позволяет сделать вывод, что топология объектов и их баркоды не изменяются во времени и на разных масштабах. Точность идентификации объектов составила 93%.

Ключевые слова: топология, трехмерные баркоды, топологические особенности, геоинформатика, nD объекты.

Abstract. Within the framework of the work, a set of algorithms is considered that allow us to come to the spatial processing of objects for different time intervals and on different scales. The given set of algorithms makes it possible to identify various artificial and natural objects, such as: buildings, reservoirs, gas explosions, etc. Algorithm testing allows us to conclude that the topology of objects and their barcodes do not change over time and at different scales. The accuracy of object identification was 93%.

Keywords: topology, three-dimensional barcodes, topological features, geoinformatics, nD objects.

Геоинформационные технологии в настоящее время все шире используют изображения со спутников и летательных аппаратов. На сегодня создано большое количество алгоритмов и методов распознавания пространственных объектов на изображениях, полученных со спутников и беспилотных летательных аппаратов, различающихся меж-

ду собой используемыми методами и подходами к их разработке, временными характеристиками, получаемыми результатами и так далее.

Вопрос использования пространственных и временных признаков при цифровой обработке таких изображений в настоящее время недостаточно проработан. Поэтому актуальной задачей является разработка новых алгоритмов обработки и анализа таких изображений с учетом требований геоинформационных систем по обеспечению быстрой и надежной идентификации объектов на них с использованием пространственных и временных признаков.

Основная суть формализации данных о пространственно-распределенных объектах на основе трехмерного баркода заключается в том, чтобы описать такие структуры, которые будут устойчиво сохраняться при деформациях и искажениях. Единственное, что не меняется при изменении масштаба и поворотах объекта – это его форма. Топология не учитывает координаты объектов, а рассматривает его структуру. Пока форма объекта неизменна – сохраняется и его топология. Для описания топологических признаков используются трехмерные баркоды состоящие из топологических особенностей первого и второго порядка. Модель построения трехмерных баркодов подробно описана в статье [1].

В ходе работы были разработаны следующие алгоритмы:

1. Алгоритм идентификации газовых подрывов на снимках Арктики на основе трехмерных баркодов.

Задача идентификации газовых подрывов на снимках Арктики была поставлена лабораторией комплексного геолого-геофизического изучения и освоения нефтегазовых ресурсов континентального шельфа института проблем нефти и газа РАН. До этого газовые подрывы выделялись на снимках вручную.

Алгоритм идентификации газовых подрывов на снимках Арктики на основе трехмерных баркодов выглядит следующим образом:

1. Производится первоначальное обучение. На снимках выделяют несколько однотипных объектов и находятся их баркоды.
2. Задается диапазон из минимального и максимального значений, полученных баркодов.
3. На вход подается растровое изображение Арктической местности.
4. Производится первоначальная обработка снимка. Изображение нормализуется путем корректировки средней яркости и контрастности.
5. Производится выделение контуров на основе метода Кэнни, суть которого заключается в обнаружении границ изображения.
6. Внутри каждого полученного контура определяется наличие освещения. Если объект имеет засвеченную сторону от солнечного света, то это может быть газовый подрыв.
7. Для каждого изображения строится баркод.

8. Осуществляется поиск данных баркодов в диапазоне, полученном в п. 1. Если баркод попадает в данный диапазон – объект внутри контура является искомым объектом.

На рис. 1 отображен пример идентификации газовых подрывов.

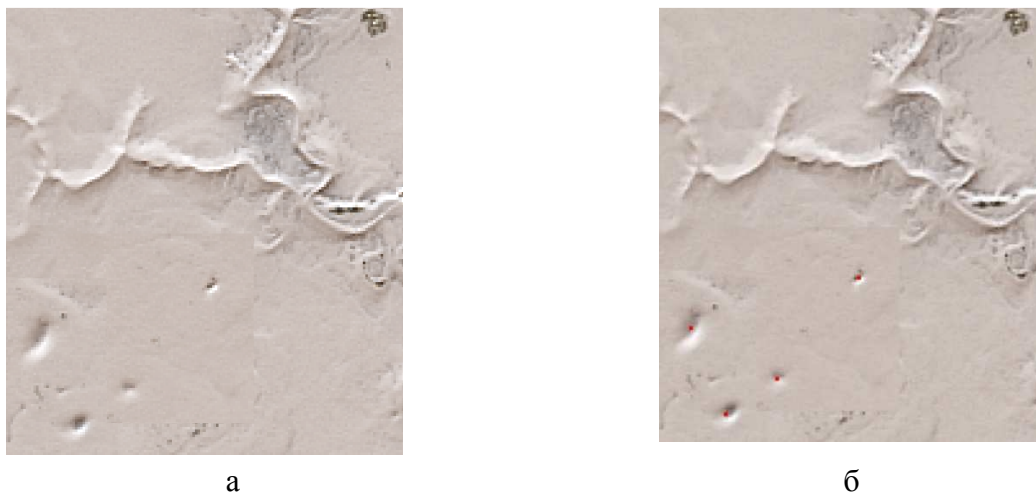


Рис. 1. (а) – исходный снимок; (б) – снимок с выделенными буграми пучения
Разработанный алгоритм позволяет идентифицировать газовые подрывы на снимках Арктики. Это позволяет автоматизировать данную задачу, которая ранее выполнялась геофизиком вручную.

2. Алгоритм идентификации пространственных объектов на снимках за разные промежутки времени на основе трехмерных баркодов.

Данный алгоритм учитывает пространственные характеристики и позволяет анализировать данные без учета координат.

Алгоритм работает следующим образом:

- 1) Вычисляется баркод изображения.
- 2) Вычисленный баркод заносится в трехмерный баркод.
- 3) Если у каждого объекта есть равные значения топологических особенностей второго порядка, имеющих одинаковую максимальную длину то изображения, являются одним и тем же объектом.
- 4) На выход получаем тип объекта и данные о нем раз разные временные промежутки [2].

Пример снимков за разные временные промежутки отражен на рис. 2 (а, б)

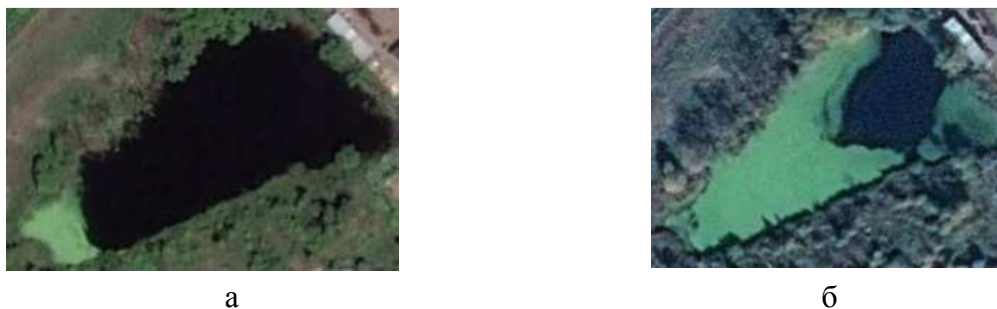


Рис. 2. Снимки водоемов за летний и осенний период и графики их баркодов.
а) – снимок водоема за летний период; б) – снимок водоема за осенний период

На рисунке 2 (а, б) отображены снимки водоемов за летний и осенний периоды. На рисунке 2 (б) отчетливо видна тина, покрывающая большую часть водоема. Структуры баркодов совпадают, также, как и максимальные длины дыр баркодов. Отсюда можно сделать вывод, что наличие тина на водоемы, при топологическом анализе, не мешает определять его форму.

Результатом работы алгоритма является классификация объектов на снимках за разные временные промежутки, на основе полученных трехмерных баркодов.

3. Алгоритм анализа пространственных объектов при изменении масштабов.

Он позволяет производить анализ пространственных объектов на снимках разных масштабов. Алгоритм состоит из следующих шагов:

- 1) Вычисляется баркод изображения.
- 2) Вычисленный баркод заносится в трехмерный баркод.
- 3) Сопоставляем баркоды одного и того же объекта. Форма данных баркодов является схожей, за исключением количества топологических особенностей первого и второго порядка. Чем меньше масштаб, тем меньше, в баркоде, содержится топологических особенностей.

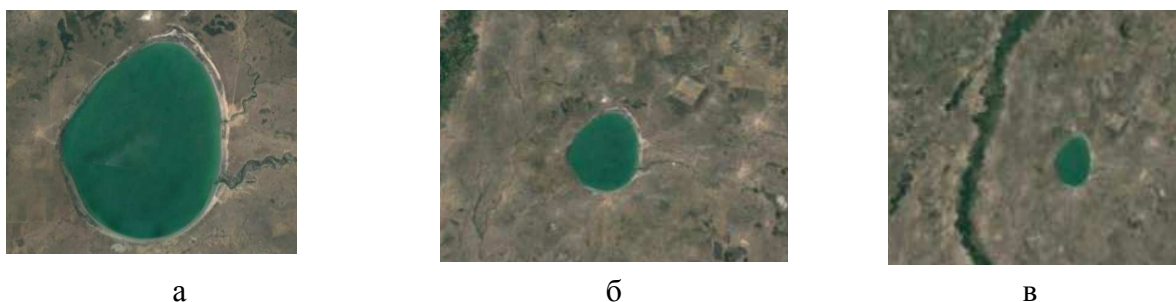


Рис. 3. Снимки водоема на разных масштабах (а) – масштаб 1:100; (б) – масштаб 1:500; (в) – масштаб 1:1000

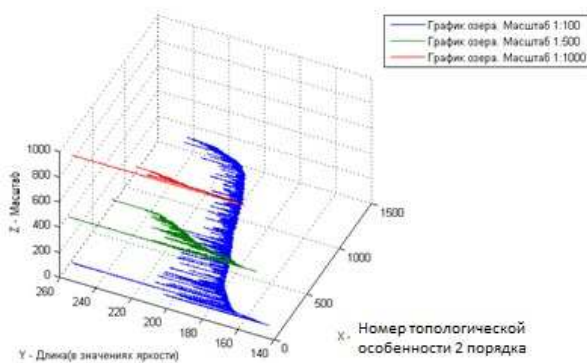


Рис. 4. График трехмерного баркода для водоема на разных масштабах

- 4) На выход получаем данные об объекте на разных масштабах [3].

5) На рисунке 3 (а, б, в) видно, что это один и тот же водоем, имеющий одинаковую структуру и форму, но на рисунках водоем имеет разную площадь. Далее строится трехмерный баркод для данных изображений. График данного баркода отражен на рисунке 4.

Исходя из графика на рисунке 4 можно сделать вывод, что баркоды на масштабах 1:100, 1:500, 1:1000 имеют схожую часть формы и у каждого объекта есть равные топологические особенности второго порядка, имеющие одинаковую максимальную длину $\max(l_i(B_1)) = \max(l_i(B_2)) = \max(l_i(B_3))$, которая находится в диапазоне яркости от 145 до 254. Сам баркод зависит от масштаба, чем меньше у объекта пикселей, тем меньше топологических особенностей.

Алгоритм сопоставляет объекты вне зависимости ракурса их съемки и деформации.

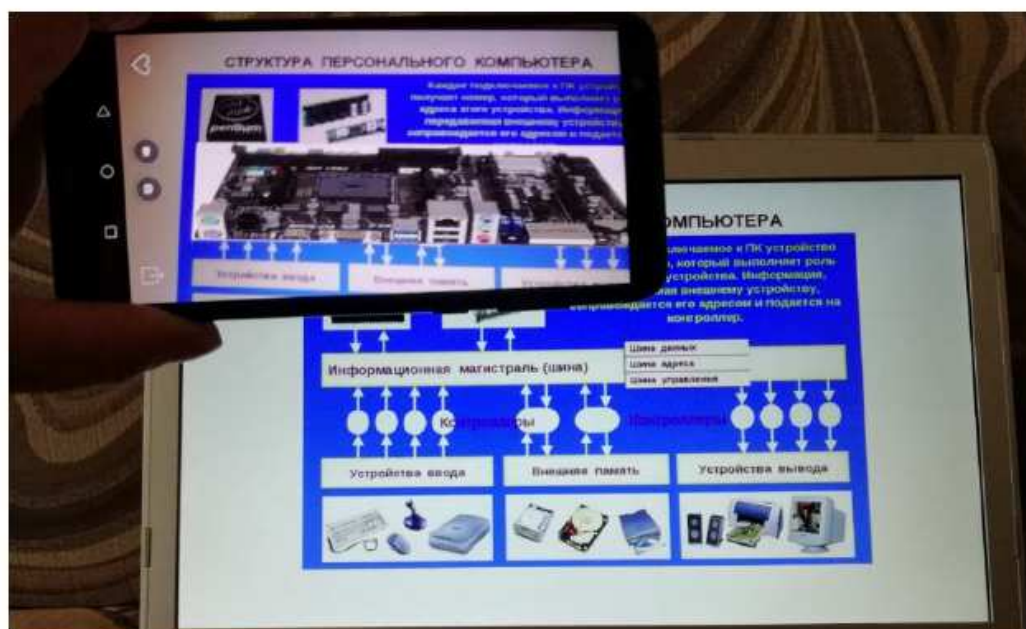
Произведённые экспериментальные исследования разработанных алгоритмов показали, что сопоставление с использованием трехмерных баркодов позволяет сделать вывод, что топология объектов и их баркоды не изменяются во времени и на разных масштабах. Точность идентификации объектов составила 93% [4-6].

Список использованных источников

1. Еремеев, С.В., Андрианов, Д.Е., Ковалев, Ю.А., Титов Д.В. Разработка методов обработки пространственных структур на спутниковых изображениях // Изв. Вузов. Приборостроение. – 2021. – Т. 64. – №1. – с. 21-31.
2. Andrianov, D. E., Eremeev, S. V., Kovalev, Y. A. Identification of spatial objects with the same topological structure in images from different times of the year // SGEM2020 Conference Proceedings. 2020. Vol. 2.1. Pp. 507-514.
3. Ковалев, Ю.А. Алгоритм идентификации пространственных объектов на снимках за разные промежутки времени и на различных масштабах на основе трехмерных баркодов // Вестник РГРТУ. 2020. №74. С. 89-98.
4. Ковалев, Ю.А. Разработка модели и алгоритмов обработки пространственных данных с использованием масштабных и временных параметров. [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 :: утв. 15.06.21 / Ковалев Юрий Анатольевич. – М., 2021. – 105 с. – Библиогр.: с. 86–101.
5. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, П.И.Пахомов // Информационные технологии. -2009. № 10. - С. 34-38.
6. Мокрозуб, В.Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 3. С. 68-73.

Секция

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ, ВИРТУАЛЬНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ И СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ



УДК 004.9

Калистратов М.С., Ал-Магсусии Х.Ф.Х, Мокрозуб В.Г.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Kalistratov M.S., Al-Magsusii H.F.X, Mokrozub V.G.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

AUTOMATION OF CALCULATION OF FLANGE CONNECTIONS OF SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS

Аннотация: Описан модуль прочностных расчетов фланцев кожухотрубчатых теплообменников. Модуль реализован в среде MathCAD и представляет собой электронную книгу.

Ключевые слова: фланец, прочность, расчет, MathCAD

Abstract: The module of strength calculations of flanges of shell-and-tube heat exchangers is described. The module is implemented in the MathCAD environment and is an e-book.

Keywords: flange, strength, calculation, MathCAD.

Существует различное технологическое оборудование (ТО), при конструировании которого необходимо произвести прочностные расчеты его элементов. Это могут быть расчеты на прочность, жесткость, устойчивость и т.д. В число этих элементов входят и фланцевые соединения, которые необходимо рассчитывать на прочность и герметичность.

Такие расчеты требуют значительных временных затрат и поэтому целесообразно создать автоматизированную информационную систему (АИС), которая позволит сократить время, затрачиваемое на расчеты.

Например, хотелось бы иметь такую АИС, которая обрабатывая исходные данные, характерные для конкретного проектируемого ТО или его элементов (в данном случае фланцевых соединений), выдавала бы требуемый расчет и готовую конструкторскую документацию, выполненную в различных САД - системах.

Такая АИС, позволяющая производить расчет фланцевых соединений, разрабатывается на кафедре КИСМ ТГТУ. АИС расчета фланцевых соединений содержит модуль и базу типоразмеров элементов фланцевых соединений, которые представлены на рис. 1.

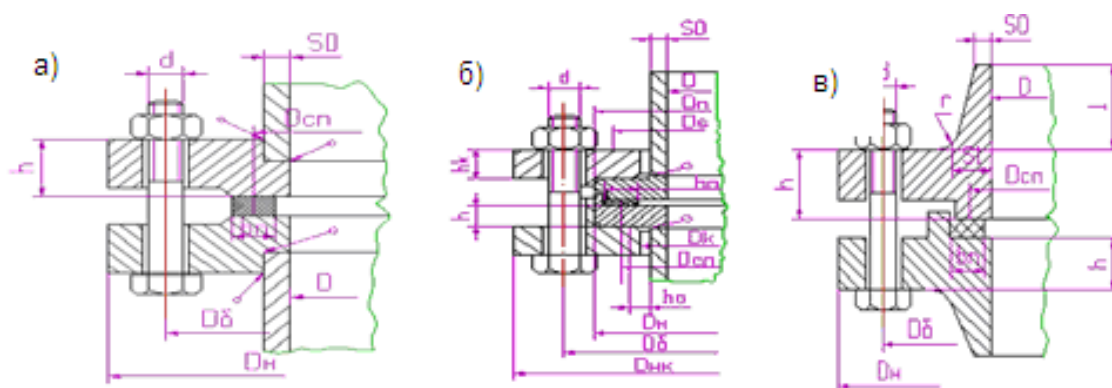


Рис.1. Основные типы фланцевых соединений

Модуль расчета реализован в среде MathCAD и представляет собой электронную книгу. Книга имеет следующие разделы: - область применения; обозначения; нормативные ссылки; общие положения; усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения; усилия в болтах (шпильках) фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях; проверка прочности болтов (шпильки) и прокладки; расчет фланцев на статическую прочность; проверка углов поворота фланцев; расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость приложения; примеры расчетов..

Книга позволяет производить расчет основных типов фланцевых соединений, представленных на рис. 1.

- с плоскими приварными фланцами (рис 1.а);
- со свободными фланцами (рис 1.б);
- фланцевых соединений с приварными встык фланцам (рис 1.в).

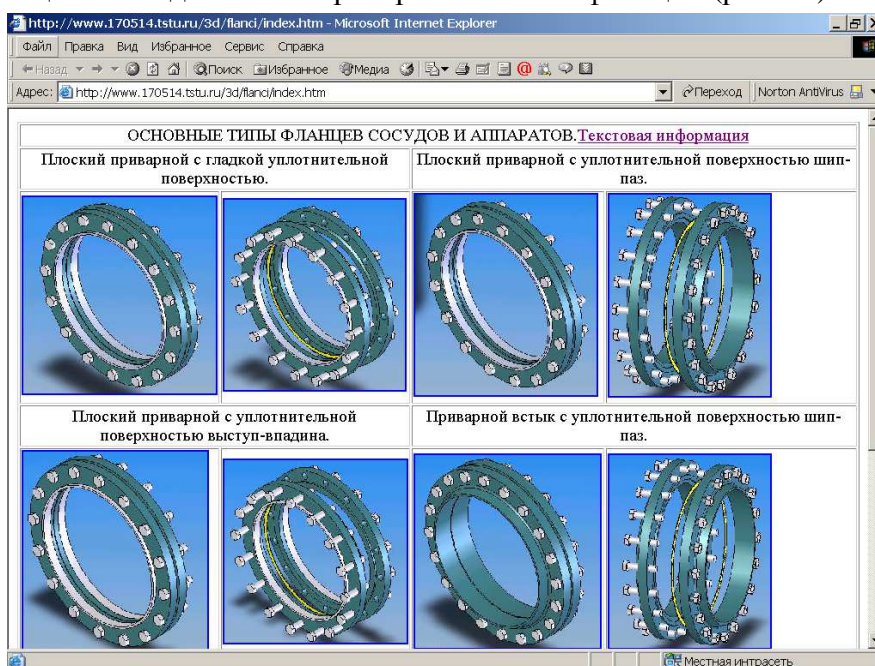


Рис. 2. Примеры 3D фланцевых соединений.

Кроме того представленная система содержит 3D модели основных типов фланцевых соединений (рис. 2), которые используются студентами при изучении разделов, связанных с конструированием фланцевых соединений.

Представленная система является элементом разрабатываемой системы автоматизированного проектирования ТО и управления химическими и машиностроительными предприятиями [1–5].

Список использованных источников

1. Мокрозуб, В.Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.В. Морозов, А.С. Коновалова А.С. // Радиотехника. 2010. – № 12. – С. 29-32.
2. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования / В.Г. Мокрозуб, В.Е. Красильников, М.П. Мариновская / Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4-2 (30). С. 264-267.
3. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете // САПР и графика. 2015. – № 1 (219). – С. 38-39.
4. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В.Г.Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34-40.
5. Mokrozub, V.G. Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov, A.V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. – Т. 53. – № 5-6. – С. 326-331.
6. Мокрозуб, В.Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 3. С. 68-73.
7. Mokrozub, V.G. An approach to smart information support of decision-making in the design of chemical equipment / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov // Chemical and Petroleum Engineering. 2015. Т. 51. № 7. С. 487-492.

УДК 661.935 519.633.2

Голубятников О.О., Акулинин Е.И., Коломоец А.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: golubyatnikov_ol@mail.ru

**ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПРОЦЕССА КОРОТКОЦИКЛОВОЙ БЕЗНАГРЕВНОЙ АДСОРБЦИИ ДЛЯ
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДОРОДА**

Golubyatnikov O. O., Akulinin E. I., Kolomoets A.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: golubyatnikov_ol@mail.ru

**THE APPROACH TO FORMATION OF PRESSURE SWING ADSORPTION
MATHEMATICAL MODEL FOR HYDROGEN RECOVERY**

Аннотация: Проведено исследование влияния полноты математической модели процесса короткоциклового безнагревной адсорбции (КБА) на её точность для процесса КБА извлечения водорода из синтез-газа. Установлено, что при диаметре частиц адсорбента менее 2 мм в модели можно не учитывать влияние диффузии в грануле адсорбента, что позволит сэкономить не менее 47.1% расчетного времени. При входной скорости газового потока более 0.05 м/с в модели можно не учитывать диффузию в газе. Приведены рекомендации по выбору набора уравнений модели для расчета рассмотренного процесса КБА.

Ключевые слова: короткоцикловая безнагревная адсорбция, математическое моделирование, численное исследование, синтез-газ, водород.

Abstract. The influence of the completeness of the mathematical model of the pressure swing adsorption (PSA) process on its accuracy for the PSA process of hydrogen recovery from synthesis gas is studied. It is found that when the diameter of the adsorbent particles is less than 2 mm, the model can not take into account the effect of diffusion in the adsorbent granule, which will save at least 47.1% of the CPU time. If the input velocity of the gas flow is more than 0.05 m/s, the model can ignore the diffusion in the gas. Recommendations for choosing a set of model equations for calculating the considered PSA process are given.

Keywords: pressure swing adsorption, mathematical modeling, numerical study, synthesis gas, hydrogen.

Введение

Одним из перспективных способов получения газов из газовых смесей является короткоцикловая безнагревная адсорбция (КБА). Это широкий класс циклических адсорбционных процессов (PSA, VSA, VPSA, PTSA, rPSA, ultra-rPSA и др.), позволяющих извлекать целевые газы высокой чистоты с самой низкой себестоимостью и энергозатратами в диапазоне производительностей по водороду до 50000 нм³/ч (по данным JSC Grasys). Использование методов математического моделирования и оптимизации при расчетах процессов и установок КБА позволяет снижать себестоимость извлечения целевых газов из смесей до 2 раз за счет определения наилучших сочетаний режимных и конструктивных параметров установок [1].

Математические модели адсорбера КБА в общем случае представляют набор дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка, описывающих материальный и тепловой баланс в газовой фазе и адсорбенте, неразрывность газового потока, кинетику массо- и теплоотдачи на границе «газовая смесь–адсорбент».

Полнота моделей КБА зависит от учета следующих факторов:

- распространения тепла в газе и адсорбенте (предлагаются изотермические [2] и неизотермические модели [3]);
- внутридиффузионного переноса компонентов газовой фазы в адсорбенте (предлагаются модели с преобладающим внешнедиффузионным [2] или смешаннодиффузионным механизмом переноса [3]);
- изменения свойств газа и значений коэффициентов массо-, теплоотдачи в процессе сорбции (коэффициенты вычисляются по эмпирическим и полуэмпирическим зависимостям [2] или принимаются константами [3]).

Особенностью моделирования процесса КБА является достижение стационарного состояния циклического процесса (cyclic steady state (CSS)) [3]. CSS достигается путем многократного последовательного решения системы уравнений модели для каждой стадии циклического процесса (набор давления, адсорбция, сброс давления, десорбция и др.), пока концентрация продукта на выходе из адсорбера на текущем цикле работы не будет очень близкой к концентрации на предыдущем цикле. Эта процедура представляет собой имитацию выхода установки на стационарный режим работы. Количество итераций (циклов), которые необходимо просчитать достигает нескольких десятков, поэтому вычисления являются временнозатратными, что особенно критично при решении задач оптимального проектирования установок КБА. В связи с этим, важным аспектом является время просчета одной итерации модели, для снижения которого целесообразно упрощать модель. При этом модели процессов КБА должны быть достаточно точными. Например, точность модели должна быть не ниже 1 об.% при извлечении кислорода и не ниже 0.1 об.% при извлечении водорода. Дополнительной сложностью расчетов являются крутые адсорбционные фронты, которые могут приводить к формированию набора жестких обыкновенных дифференциальных уравнений и возникновению физически необусловленных колебаний. Формирование более полной модели приводит к увеличению количества дифференциальных уравнений и функцио-

нальных зависимостей, по которым рассчитываются коэффициенты модели. Это увеличивает вероятность получения неустойчивых разностных схем, а также количество физических экспериментов, необходимых для идентификации коэффициентов. Обеспечение требуемой точности модели и минимальной сложности является противоречивыми требованиями.

Целью работы является исследование влияния полноты математической модели процесса КБА на её точность для процесса КБА извлечения водорода из синтез-газа.

Вычислительный подход

Технологический процесс разделения газовой смеси методом КБА осуществляется в двухадсорберной установке с гранулированным адсорбентом 13X [3]. Принцип ее работы заключается в циклическом чередовании процессов адсорбции компонентов из непрерывного потока газовой смеси и их десорбции из адсорбента в параллельно работающих адсорберах. При этом на выходе из установки КБА обеспечивается непрерывный поток целевого продукта. Один полный цикл работы установки включает две равные по времени стадии адсорбции и десорбции.

Математическая модель процесса КБА описывает массо-, теплообменные процессы, протекающие в адсорбере установки и представляет собой систему 1-D дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка [4]. Математическая модель процесса КБА включает следующие уравнения [4]: покомпонентного материального баланса в потоке газовой фазы по высоте слоя адсорбента (1), кинетики сорбции (формула Глюкауфа) (2), насыщения гранулы адсорбента адсорбтивом (3), распространения тепла в потоке газовой смеси по высоте адсорбента (4), распространения тепла в адсорбенте (5), неразрывности потока (6), уравнение Эргуна (7).

Механизм переноса вещества включает: диффузию и конвекцию в газе (уравнение 1), внешнюю массоотдачу (уравнение 2), диффузию в грануле адсорбента (уравнение 3). Механизм переноса тепла включает конвекцию, теплопроводность, внешнюю теплоотдачу (уравнение 4) и распространение тепла в адсорбенте (уравнение 5). Уравнение (6) отражает изменение скорости потока в результате сорбции компонентов, уравнение (7) описывает перепад давления в слое адсорбента.

Допущения, принятые при разработке модели, начальные и граничные условия для стадий адсорбции и десорбции приведены в работе, а также расчетные формулы для коэффициентов модели представлены в работе [4].

Система уравнений (1)–(7) решалась методом прямых в программной среде MatLab с использованием ограничителя потока Ван Лира для предотвращения физически необусловленных колебаний.

Решение системы (1)–(7) необходимо осуществлять последовательно для стадий адсорбции и десорбции до наступления режима CSS (cyclic steady state) в адсорбере [3].

Адекватность модели (1)–(7) оценивали с использованием средней квадратической ошибки RMS (8):

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y_{\text{exp},j} - y_{\text{mod},j})^2} 100\% \quad (1)$$

где $y_{\text{exp},j}$ – чистота газа на выходе из адсорбера, полученная на экспериментальном стенде КБА; $y_{\text{mod},j}$ – чистота газа на выходе из адсорбера, рассчитанная по модели (1)–(7).

Значение RMS составило 0.021 об.% на интервале требуемой чистоты по водороду 99.950–99.999 об.%.

В «полной» модели КБА учитывается распространение тепла в газе и адсорбенте, внутридиффузионный перенос в адсорбенте, диффузия в газе. Для определения диапазонов изменения входных переменных, в которых учет рассматриваемого процесса переноса не оказывает существенное влияние на точность модели предлагается провести численное исследование. В ходе него предлагается оценить точности моделей: «полной» модели (1)–(7) («модель 1») и «упрощенных» моделей («модель 2», уравнения (1)–(3), (6), (7) – изотермическая; «модель 3», уравнения (1), (2), (4)–(7) – внешнедиффузионная; «модель 4», уравнения (1)–(7) – без учета диффузии в газе).

В качестве варьируемых переменных выступают давление на стадии адсорбции P^{in} , скорость входного потока v_g , диаметр частицы адсорбента d_p .

Оценка точности моделей Δ осуществляется по условию:

$$\Delta = |y_{full}(P^{in}, v_g, d_p) - y_{easy}(P^{in}, v_g, d_p)| \leq e \quad (2)$$

где y_{full} y_{full} – чистота газа на выходе из адсорбера, рассчитанная по «полной» модели; y_{easy} – чистота газа на выходе из адсорбера, рассчитанная по «упрощенной» модели.

Если условие (9) выполняется, то в модели КБА рассматриваемый процесс можно не учитывать.

Результаты и обсуждение

По результатам численных исследований влияния полноты модели КБА на её точность подготовлены рекомендации по выбору набора уравнений модели для расчета процесса КБА разделения синтез-газа (таблица 1).

Таблица 1. Рекомендации по выбору модели для расчета процесса КБА извлечения водорода

Диапазоны изменения входных переменных	Набор уравнений	CPU time*, мин	Δ , % об.	Opt time, мин
$G^{\text{out}} \geq 50$ нл/мин, $d_p \geq 2$ мм, $v_g < 0.05$ м/с	модель 1 (1)–(7)	18.7	0.0016	935
$d_p < 2$ мм	модель 3 (1), (2), (4)–(7)	9.9	0.0088	495
$v_g \geq 0.05$ м/с	модель 4 (1)–(7)	18.6	0.0028	930

CPU time – время расчета модели до режима CSS; Opt time – ориентировочное время решения задачи оптимального проектирования [5-7] в случае использования данной модели, которое было получено исходя из практического опыта расчетов (количество просчетов модели КБА до режима CSS при решении задачи оптимизации составляет не менее 50).

*характеристики компьютера Intel Core i7-7700, DDR4 16Gb, NVIDIA GeForce GTX 1050 2Gb, Win7x64)

Анализ результатов показал, что повышение производительности установки G^{out} приводит к повышению температуры в слое адсорбента из-за возрастания теплового эффекта сорбции (уравнение (5), слагаемое 3). Для расчетов водородных установок КБА использование изотермической модели 2 является нецелесообразным, поскольку нагрев адсорбента составляет 10–15 °С и $\Delta=0.018$ об.% ($\Delta>e$) даже при наименьшей производительности установки $G^{\text{out}}=50$ нл/мин.

При уменьшении диаметра частиц адсорбента внутридиффузионное сопротивление в грануле уменьшается, а коэффициент массоотдачи увеличивается. Расчеты показывают, что при $d_p<2$ мм процесс внешней массоотдачи приобретает лимитирующее влияние, при этом $\Delta<e$, что позволяет использовать для расчетов рассмотренных процессов КБА внешнедиффузионную модель 3 (табл. 1, случаи 1, 2). Использование внешнедиффузионной модели при решении задачи оптимального проектирования позволит сэкономить не менее 47.1% расчетного времени при потере точности не более 0.0072 об.%.

При уменьшении скорости газового потока вклад продольного перемешивания в массоперенос уменьшается по сравнению с конвективной составляющей (уравнение (1), слагаемые 4, 3). Установлено, что при скорости газового потока более 0.05 м/с вклады продольного перемешивания и конвективной составляющей в массоперенос отличаются более чем на порядок, при этом $\Delta<e$, поэтому учет диффузии в газе можно пренебречь (табл. 1, случаи 1, 3).

Данный подход может быть использован для расчета различных процессов КБА: rPSA, ultra rPSA, VSA, VPSA.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00092.

Список использованных источников

1. Shi, W.-R., Tian, C.-X., Ding, Z.-Y., Han, Z.-Y., Zhang, D.-H. Review on Simulation, Optimization and Control of Pressure Swing Adsorption // Gao Xiao Hua Xue Gong Cheng Xue Bao/Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities. 2018. Vol. 32. Issue 1. P. 8-15. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-9015.2018.01.002>.
2. Papadias, D., Lee, S., Ahmed, S. Facilitating analysis of trace impurities in hydrogen: Enrichment based on the principles of pressure swing adsorption // International Journal of

Hydrogen Energy. 2012. Vol. 37. Issue 19. P. 14413-14423. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.07.057>.

3. Li, H., Liao, Z., Sun, J., Jiang, B., Wang, J., Yang, Y. Modelling and simulation of two-bed PSA process for separating H₂ from methane steam reforming // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2019. Vol. 27. Issue 8. P. 1870–1878. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.11.022>.

4. Akulinin, E., Golubyatnikov, O., Dvoretzky, D., Dvoretzky, S. Optimization and analysis of pressure swing adsorption process for oxygen production from air under uncertainty // Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly. 2020. Vol. 26. Issue 1. P. 89-104. <https://doi.org/10.2298/CICEQ190414028A>.

5. Akulinin, E.I., Golubyatnikov, O.O., Dvoretzky, D.S., Dvoretzky, S.I. The optimal design of pressure swing adsorption process of air oxygen enrichment under uncertainty // Bulletin of the South Ural State University, Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2020. Vol. 13. Issue 2. P. 5–16. <https://doi.org/10.14529/mmp200201>.

6. Немтинов, К.В., Ерусланов А.К., Немтинов В.А. Технология автоматизированного синтеза сложных технологических комплексов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 75–83.

7. Мокрозуб, В.Г. О подходе к интеллектуализации информационной поддержки принятия решений при конструировании химического оборудования / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов //Химическое и нефтегазовое машиностроение.- 2015. № 7. -С. 31-34. 5.

УДК 531.8

Альруйшид М.Х.Х., Дмитриевский Б.С., Скворцов С.А., Терехова А.А.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: dfoxd@yandex.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АДСОРБЦИИ ВОДОРОДА НА АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ

Alruyshid M.H., Dmitrievsky B.S., Skvortsov S.A., Terekhova A.A.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: dfoxd@yandex.ru

SIMULATION PROCESS HYDROGEN ADSORPTION ON ACTIVATED CARBON

Аннотация: Описана математическая модель, алгоритм расчета, приведен результат имитационного моделирования процесса адсорбции водорода.

Ключевые слова: имитационное моделирование, адсорбция водорода, активированный уголь.

Abstract: A mathematical model, a calculation algorithm, and the result of simulation of the hydrogen adsorption process are described.

Keywords: simulation, hydrogen adsorption, activated carbon.

Водород – один из главных продуктов мировой промышленности. Потребление водорода в мире каждый год увеличивается. На сегодняшний день основным способом производства водорода является паровой риформинг природного газа, который в структуре объема мирового производства занимает 75 %. Одной из ключевых стадий технологического процесса является процесс адсорбционного разделения продуктов риформинга с целью получения водорода высокой чистоты (99,99 % об.) [1]. Процесс адсорбционного разделения организуется, как правило, по принципу короткоциклового адсорбции (КЦА). Сложность и масштабы процесса требуют крайне высоких экономических затрат на их научные исследования путем физического моделирования. Поэтому весьма актуальным является использование методов имитационного моделирования для исследования и автоматизации процесса адсорбционного получения водорода.

Математическая модель процесса адсорбции. Рассмотрим процесс адсорбции водорода на активированном угле в цилиндрическом адсорбере. Продольная ось

адсорбера Oz совпадает с направлением потока водородосодержащей газовой смеси. Основными допущениями математической модели являются [2]:

- процесс адсорбции изотермичен;
- продольная диффузия отсутствует;
- кинетика адсорбции лимитируется внутренней фазой.

Уравнение общего материального баланса:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \rho \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\partial a}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Уравнение кинетики адсорбции:

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \beta(a^* - a) \quad (2)$$

Изотерма Ленгмюра:

$$a^* = b_1 \frac{b_2 c}{1 + b_2 c} \quad a^* = b_1 \frac{b_2 c}{1 + b_2 c} \quad (3)$$

Начальные условия для уравнения (1) $0 < z < l, t = 0$:

$$c(z, t)|_{t=0} = c_0(z), \quad a(z, t)|_{t=0} = a_0(z) \quad (4)$$

Граничные условия для уравнения (1) на входе адсорбера $z=0, t > 0$:

$$c(z, t)|_{z=0} = c_m(t) = \frac{P_{in} y_{in}}{RT} \quad (5)$$

В уравнениях (1) – (5) использованы обозначения: c – молярная концентрация водорода, моль/м³; a – концентрация в водорода в адсорбенте, моль/кг; a^* – равновесная концентрация в водорода в адсорбенте, моль/кг; b – параметры изотермы; β – кинетический коэффициент, $1/c$; t – время, с; z – продольная координата в адсорбционном слое, м; u – мнимая скорость потока в адсорбционном слое, м/с; ε – общая порозность адсорбционного слоя; T – температура, К; ρ – насыпная плотность адсорбента, (кг/м³); R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К); P – давление, Па; L – длина адсорбционного слоя, м; y_{in} – молярная концентрация водорода во входной газовой смеси.

Методика расчета уравнений математической модели. Для расчета использовался метод прямых (MOL Method of lines). Система уравнений (1)-(5) аппроксимируется системой обыкновенных дифференциальных уравнений путем замены частных производных по координате z конечно-разностным аналогом. Для аппроксимации первой производной использовалась центральная разностная схема. Интегрирование системы уравнений производится методом Рунге-Кутты 4 порядка.

Имитационное моделирование. Для проведения имитационного моделирования приняты следующие номинальные значения параметров: $L=1$ м; $\varepsilon=0,43$; $u=0,12$ м/с; $\rho=482$ кг/м³; $b_1=10,685$; $b_2=9,56 \cdot 10^{-5}$; $\beta=1,98$ 1/с; $c_{in}=8,48$ моль/м³; $c_0=0$; $a_0=0$. Количество узлов дискретизации – 21.

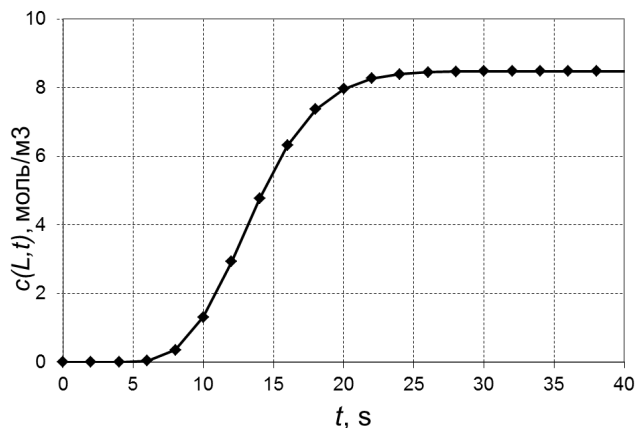


Рис.1 Результат имитационного моделирования адсорбции водорода

Таким образом, разработана математическая модель, алгоритм процесса адсорбции водорода. Проведены имитационные исследования, которые согласуются с экспериментальными литературными данными.

Список использованных источников

1. Ishin, A.A., Skvortsov, S.A., Matveykin, V.G., Dvoretzkiy, D.S., Dvoretzkiy, S.I. «Modeling and optimization of cyclic adsorption processes of hydrogen enrichment of gas mixtures» Theoretical Foundations of Chemical Engineering, Vol. 53. No.5, 2019, Pages 781-792
2. Filipe, V.S. Lopes, Carlos A. Grande, Alírio E. Rodrigues “Activated carbon for hydrogen purification by pressure swing adsorption: Multicomponent breakthrough curves and PSA performanc”, Chemical Engineering Science, Volume 66, Issue 3, 2011, Pages 303-317

УДК 004.89

Теселкин Д.Д., Назарова А. О., Обухов А.Д.

¹ Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: dteselk@mail.ru

НАХОЖДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ MEDIAPIPE OBJECTRON

Teselkin D.D., Nazarova A. O., Obukhov A.D.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: dteselk@mail.ru

FINDING OBJECTS IN REAL TIME USING MEDIAPIPE OBJECTRON

Аннотация: технологии компьютерного зрения в последнее десятилетие получают широкое распространение в различных сферах деятельности. Актуальным направлением является исследование возможности использования различных методов для обнаружения и классификации объекта в реальном времени для разнообразных систем. В данной работе рассматривается проблема нахождения на фотографиях и видео определенных объектов с помощью класса Objectron библиотеки MediaPipe.

Ключевые слова: компьютерное зрение, классификация объектов, библиотека MediaPipe, Objectron.

Abstract. In the last decade, computer vision technologies have become widespread in various fields of activity. An urgent direction is the study of the possibility of using various methods for detecting and classifying an object in real time for a variety of systems. In this paper, we consider the problem of finding certain objects in photographs and videos using the Objectron class of the MediaPipe library.

Keywords: computer vision, object classification, library MediaPipe, Objectron.

На текущий момент машинное зрение используется для множества задач. В мобильных камерах оно разбивает фотографии и видео на множество отдельных объектов для постобработки с целью улучшения качества фотографии[1], в камерах видеофиксации сопоставляет объект с рядом параметров для отслеживания правонарушений, в производстве служит для мониторинга качества сборки, в транспортно-логистических системах компьютерное зрение используется для сортировки предметов и анализа движения транспорта для повышения уровня автономности[2]. Во всех перечисленных задачах требуется обнаружить и классифицировать объект либо на фото, либо в реальном времени. Возможность решения данной проблемы обеспечивается использованием современных интеллектуальных технологий, методов машинного обучения и компьютер-

ного зрения. В качестве одного из инструментов для работы со статичным и динамическим изображением выступает библиотека MediaPipe[3]. Она реализована на таких языках программирования, как C++, Python, JavaScript, Coral и оптимизирована для использования не только на стационарных компьютерах, но и для систем, работающих на базе Android и iOS.

Класс Objectron, входящий в библиотеку MediaPipe, служит для обнаружения определенных объектов в реальном времени и оценки их координат с помощью нейронной сети, обученной на пятнадцати тысячах размеченных видео и во много раз большем количестве размеченных изображений[4]. Используя 3D прогнозирование на основе ограниченных 2D изображений, Objectron позволяет определить координаты, ориентацию и размер необходимого объекта в трехмерной системе координат (рис. 1).

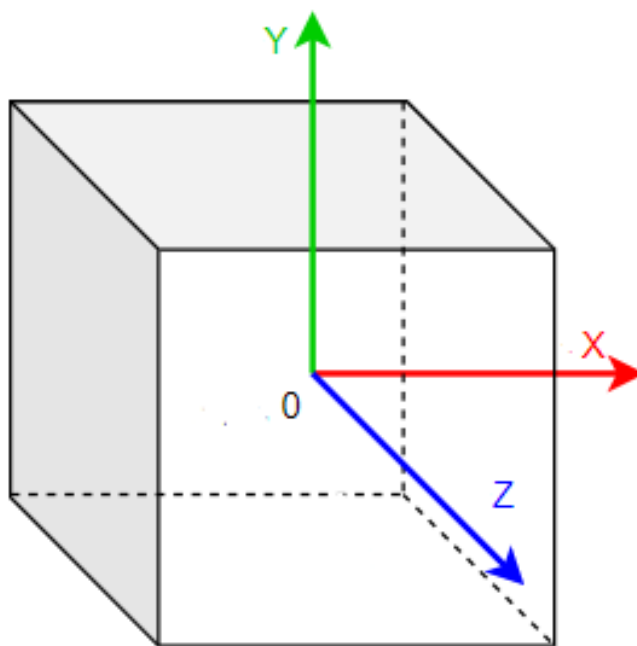


Рис. 1. Сетка координат для ориентации объекта

На данный момент Objectron может определять такие объекты как обувь(рис.2), стол, стул, кружка, камера, велосипед, книга. Для каждого объекта обучена и сохранена соответствующая модель нейронной сети. В работе в режиме видеопотока с этими объектами для устранения возможного эффекта дрожания и для оптимизации процесса используется стратегия обнаружение + отслеживание. Отслеживание реализуется классом BoxTracking[5] библиотеки Open CV (рис. 3).

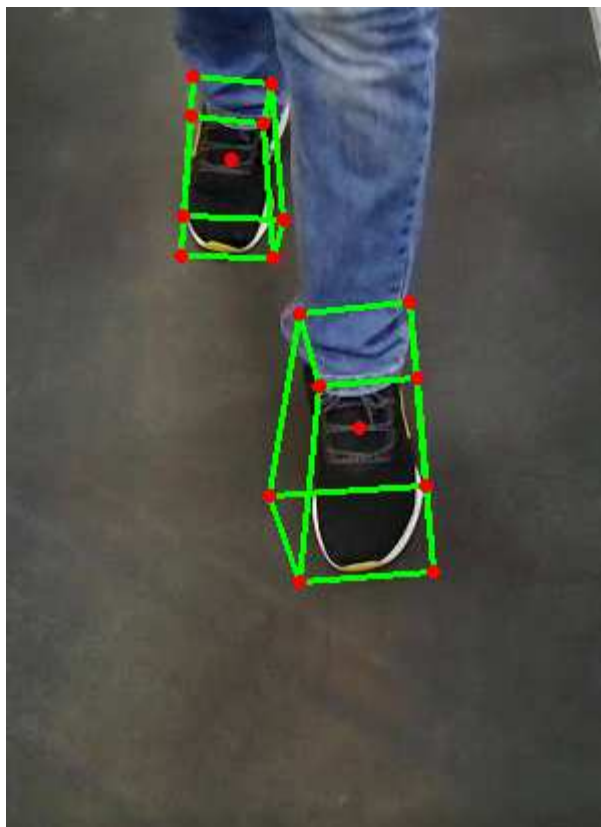


Рис. 2. Пример обнаружения обуви (Objectron)

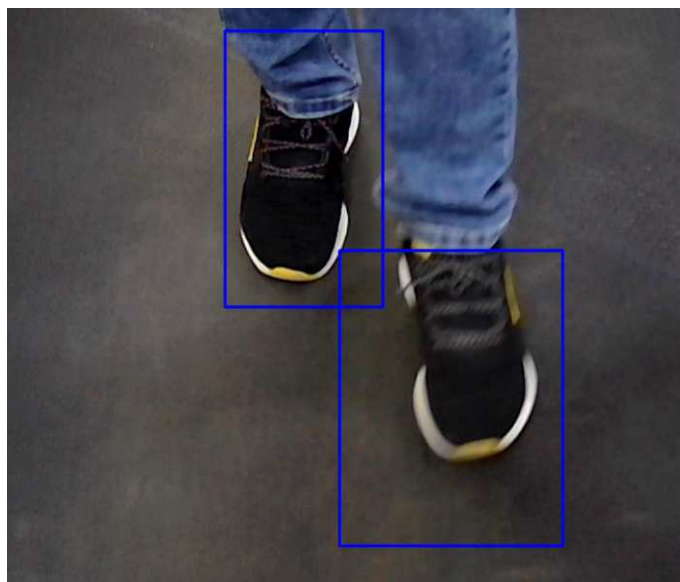


Рис. 2. Отслеживание объекта (BoxTracking)

Таким образом, класс Objectron библиотеки MediaPipe содержит необходимые методы работы с изображениями и видеопотоком для обнаружения, классификации и отслеживания в реальном времени уникального объекта или их множества с получением

и фиксации координат, ориентации и размера каждого объекта в 3D пространстве. Оптимизация модели нейронной сети позволяет использовать их как на стационарных, так и на мобильных системах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.09.

Список использованных источников

1. Hu, Y. et al. Exposure: A white-box photo post-processing framework //ACM Transactions on Graphics (TOG). – 2018. – Т. 37. – №. 2. – С. 1-17.
2. Perallos, A. et al. (ed.). Intelligent transport systems: technologies and applications. – John Wiley & Sons, 2015.
3. Lugaresi, C. et al. MediaPipe: A Framework for Perceiving and Processing Reality. – 2019.
4. Ahmadyan, A. et al. Objectron: A large scale dataset of object-centric videos in the wild with pose annotations //Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2021. – С. 7822-7831.
5. Chen, Z. et al. Siamese box adaptive network for visual tracking //Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2020. – С. 6668-6677.

УДК 004.93'1

Вострикова В. В., Суркова Е. О., Обухов А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: vostrikovaviktoria@yandex.ru

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОТСЛЕЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ OPENCV

Vostrikova V.V., Surkova E. O., Obukhov A.D.

¹Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: vostrikovaviktoria@yandex.ru

COMPARISON OF OBJECT TRACKING ALGORITHMS USING OPENCV

Аннотация: алгоритмы компьютерного зрения активно внедряются в различные сферы нашей жизни (промышленность, медицина и т.д.) для автоматизации процесса распознавания объектов, их отслеживания и классификации. В работе рассмотрены различные алгоритмы отслеживания объектов на изображении с использованием библиотеки OpenCV.

Ключевые слова: компьютерное зрение, отслеживание объектов, библиотека OpenCV, трекары, обработка кадров.

Abstract. Computer vision algorithms are being actively implemented in various areas of our life (industry, medicine, etc.) to automate the process of object recognition, tracking and classification. The paper discusses various algorithms for tracking objects on images using the OpenCV library.

Keywords: computer vision (CV), object tracking, OpenCV, trackers, frame processing.

В настоящее время различные информационные технологии и системы активно внедряются во все сферы нашей жизни. Актуальным направлением на данный момент является использование алгоритмов компьютерного зрения при автоматизации рутинных задач анализа и обработки информации. Компьютерное зрение – молодая и быстро развивающаяся область, основной целью которой является создание систем, способных обрабатывать и анализировать изображения для получения какой-либо информации. Примеры применения систем компьютерного зрения: системы управления, робототехника, видеонаблюдение, создание баз данных изображений и видео, анализ и обработка снимков, дополненная и виртуальная реальность, вычислительная фотография в современных мобильных устройствах [1].

Алгоритмы, необходимые для работы с изображениями и видеопотоком, предоставляет OpenCV – библиотека алгоритмов компьютерного зрения, обработки изобра-

жений и численных алгоритмов общего назначения [2]. Она имеет много реализаций, в том числе в таких языках программирования, как Python, Java, C++ и Matlab.

Данные алгоритмы начинают работу с ограничительной рамки (рис.1), которая выделяет объект наблюдения, а затем в реальном времени оценивается положение объекта в новом кадре. В процессе отслеживания необходимо определить положение объекта в текущем кадре, учитывая его положение в предыдущих кадрах. Таким образом, мы можем узнать, как двигался объект.

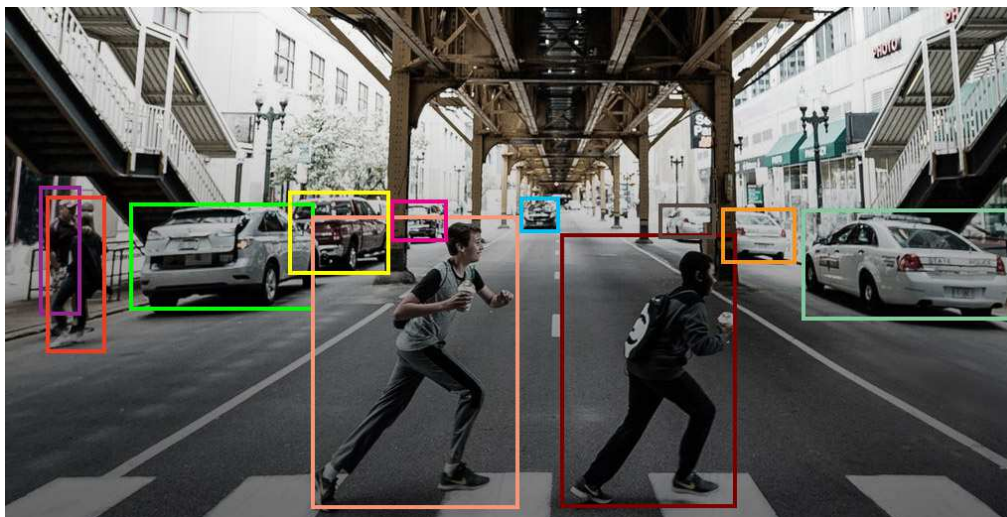


Рис. 1. Процесс обнаружения объектов

Рассмотрим основные виды алгоритмов отслеживания [1, 2].

Алгоритм	Описание	Достоинства	Недостатки
BOOSTING Tracker	Этот модуль отслеживания (трекер) основан на онлайн-версии алгоритма AdaBoost. Классификатор рассматривает ограничивающий контур как положительный пример искомого объекта, окружающий фон – как отрицательный. Рамку предоставляет алгоритм отслеживания или вручную пользователь. Классификатор на новом кадре оценивает пиксели в окрестности местоположения объекта на предыдущем кадре. Новым положением объекта в кадре считается то положение, где оценка классификатора максимальна.	Нет.	Этот трекер не отвечает современным требованиям: результат отслеживания не достаточно точный.

Алгоритм	Описание	Достоинства	Недостатки
Tracker MIL	Данный алгоритм обучает классификатор в интерактивном режиме, чтобы отделить объект от фона. Он похож на BOOSTING Tracker, однако рассматривает область вокруг текущего положения объекта для генерации нескольких положительных примеров. Множественное обучение позволяет избежать проблемы смещения для надежного отслеживания.	Алгоритм имеет хорошую производительность.	Недостаточно сообщает о сбоях.
Tracker KCF	Включает новую структуру отслеживания, которая использует свойства циркулянтной матрицы для повышения скорости обработки. Данный алгоритм сочетает в себе функциональность трекеров MIL и BOOSTING.	Точность и скорость данного алгоритма лучше, чем MIL и BOOSTING.	Трекер не может возобновить отслеживание, если объект был потерян в кадре.
Tracker TLD	В подходе TLD задача долгосрочного отслеживания разбивается на следующие подзадачи: 1. отслеживание объекта; 2. анализ состояния объекта и коррекция трекера (детектор); 3. оценка работы детектора и его обновление.	Трекер эффективно отслеживает изменения масштаба.	Вследствие нестабильной работы использование данного алгоритма является нерациональным.
Tracker MEDIANFLOW	Трекер осуществляет отслеживание на хорошем уровне при перемещении объекта на небольшой скорости, изменяющейся плавно. Особенностью его работы является наблюдение за объектом в двух направлениях (прямом и обратном).	Эффективно анализирует возникновение ошибок, их количество.	При резком изменении положения объекта в кадре перестает работать.

Алгоритм	Описание	Достоинства	Недостатки
Tracker GOTURN	Трекер основан на сверточной нейронной сети (CNN). Он работает намного эффективнее за счет того, что обучается не во время процесса отслеживания, а в автономном режиме.	При изменении внешних параметров (деформации, освещения и т.д.) продолжает работать эффективно.	Не достаточно эффективно обрабатывает событие: утерян объект.
Tracker MOSSE	Использует адаптивные корреляционные фильтры, что позволяет трекеру эффективно справляться с окклюзией. Работает с более высокой частотой кадров (450 fps).	При изменении внешних параметров (деформации, освещения, масштаба и т.д.) продолжает работать эффективно.	Проигрывает трекерам, основанным на CNN, по производительности.
Tracker CSRT	Основан на Дискриминантном корреляционном фильтре (DCF-CSR). Поддерживает масштабирование кадра, сужение отслеживаемой области, отслеживание объектов различных форм.	Имеет высокую степень отслеживания объектов.	Использует только функции HoGs and Colormames, работает с частотой кадров, равной 25 fps.

Применение перечисленных выше подходов зависит от специфики конкретной задачи и требований к производительности. Рассмотренные программные инструменты библиотеки OpenCV позволяют обрабатывать изображения, получать необходимую информацию об изменениях, связанных с исследуемым объектом, обнаруживать объекты и их классифицировать. OpenCV содержит алгоритмы для распознавания объектов на изображении, калибровки камеры по эталону, устранения оптических искажений, определения сходства, анализа перемещения объекта, определения формы объекта и слежения за объектом, распознавания жестов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Мишин, А. Б., Морковин, С. В., Осипова, Н. С. Сравнительный анализ алгоритмов трекинга в библиотеке OpenCV //Телекоммуникации. – 2020. – №. 2. – С. 7-11.
2. Лошаков, К. П., Мамонова, Т. Е. Алгоритм отслеживания и выделения движущихся объектов в видеопотоке //Системы анализа и обработки данных. – 2019. – №. 3 (76). – С. 77-86.

УДК 37.018.4

Майоров Н.И.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: del00x@mail.ru,

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ
РЕАЛЬНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ
МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Mayorov N.I.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: del00x@mail.ru

**THE APPLICATION PROSPECT OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY
FOR MECHANICAL ENGINEERING TRAINING**

Аннотация: С развитием технологий виртуальной реальности появилось множество новых использующих их инструментов. В статье представлено предварительное исследование по использованию виртуальной реальности для создания и применения иммерсивных обучающих игр при подготовке специалистов в области машиностроения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, серьезные игры, обучающие игры, подготовка специалистов, машиностроение.

Abstract. With the development of virtual reality technologies, many new tools using them have appeared. This article presents a preliminary exploring on the using of virtual reality for developing and application of immersive learning games in the field of mechanical engineering.

Keywords: virtual reality, serious games, educational games, specialist training, mechanical engineering.

В настоящее время стало популярным применение обучающих игр при подготовке специалистов в различных областях, в том числе благодаря их способности повышать вовлечённость учащихся [1]. Иммерсивные (обладающие эффектом присутствия) обучающие игры позволяют реалистично представить рабочую среду, в которой будущие специалисты будут осуществлять свою профессиональную деятельность. Это их уникальное свойство, а также современные технические достижения в области виртуальной реальности (Virtual Reality – VR), позволяют предложить новые средства обучения и подготовки специалистов [2].

С момента своего зарождения в 1990х годах виртуальная реальность вызывала большой интерес со стороны научного сообщества. В частности, она была использова-

на для в медицине при обучении хирургов и медицинского персонала, в армии при обучении солдат стрельбе в сложных ситуациях, широко применялась для обучения в аэрокосмической сфере [3]. В области машиностроения обучающие игры используются уже несколько лет и показали высокие результаты за счет оптимизации времени и высокой эффективности обучения. Они позволяют осуществлять виртуальный доступ к оборудованию, устраняют риски работы с этими машинами и позволяют обучающимся безопасно совершать ошибки в процессе обучения и проигрывать ситуации, связанные с неисправностями и поломками оборудования [4-6].

Взаимодействие в VR осуществляется с помощью виртуальной проекции рук, пользователь указывает объект для выбора, касаясь его, во время манипуляции объект закрепляется в руке. Обратная связь осуществляется в основном через вибрацию контроллера (на совместимых устройствах), а также в графическом виде, путём изменения модели виртуальной руки, когда она касается интерактивного объекта (объекта, с которым можно взаимодействовать).

Для достижения широкого спектра взаимодействий, предполагается использовать следующие модели поведения интерактивных объектов: ограниченное вращение (например, для защитной крышки и рукояток и маховиков станка); ограниченное перемещение (для раздвижной двери токарного станка с числовым программным управлением – ЧПУ); кнопка (в интерфейсе станка с ЧПУ для выбора программ, а также для запуска и остановки универсального станка); размещаемый объект (для установки заготовки в патрон).

Список использованных источников

1. Hamari, J. Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning / J. Hamari, D. J. Shernoff, E. Rowe, B. Coller, J. Asbell-Clarke, T. Edwards // *Comput. Human Behav.* – 2016. – Vol. 54 – 170–179p.
2. Nemtinov, V.A. Increasing the Level of Professional Competence Using a Virtual Educational Environment / V. A. Nemtinov, A. B. Borisenko, V. V. Morozov, Y. V. Nemtinova // *Vyss. Obraz. v Ross. = High. Educ. Russ.* – 2021. – Vol. 30 – No. 3 – 104–113p.
3. Stone, R.J. Evolution of aerospace simulation: From immersive Virtual Reality to serious games / R. J. Stone, P. B. Panfilov, V. E. Shukshunov // *Proc. 5th Int. Conf. Recent Adv. Sp. Technol.* – 2011. – 655–662p.
4. Borisenko, A. Optimal Batch Plants Design on Parallel Systems: A Comparative Study / Borisenko A., Gorlatch S. // *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)* – 2019. – P.549–558.
5. Borisenko, A. Comparing GPU-parallelized metaheuristics to branch-and-bound for batch plants optimization / Borisenko A., Gorlatch S. // *The Journal of Supercomputing* – 2019. – T. 75 – № 12 – P.7921–7933.
6. Borisenko, A. Efficient GPU-parallelization of batch plants design using metaheuristics with parameter tuning / Borisenko A., Gorlatch S. // *Journal of Parallel and Distributed Computing* – 2021. – Vol. 154 – P.74–81.

УДК 004.89

Патутин К.И., Обухов А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: obuhov.art@gmail.com

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Patyitin K.I., Obukhov A.D.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: obuhov.art@gmail.com

THE STRUCTURE OF A CONTACTLESS CONTROL SYSTEM BASED ON MACHINE LEARNING AND COMPUTER VISION

Аннотация: Рассматривается задача реализации бесконтактного (жестового) управления с применением современных технологий машинного обучения и компьютерного зрения. Представлена общая структура подобной системы, ее возможная функциональность и уникальные особенности.

Ключевые слова: бесконтактное управление, нейронные сети, компьютерное зрение.

Abstract. The problem of realization of contactless (gesture control) using modern technologies of machine learning and computer vision is considered. The general structure of such a system, its possible functionality and unique features are presented..

Keywords: contactless control, neural networks, computer vision.

Разработка систем жестового или бесконтактного управления различным оборудованием или программными обеспечением является актуальным направлением, так как позволяет расширить творческие возможности пользователя и обеспечить доступ к информационным технологиям лицам с ограниченными возможностями [1].

Для реализации таких систем оправдано использование технологий машинного обучения и компьютерного зрения, что позволит решить следующие задачи:

- получение изображений с камеры в цифровом формате;
- распознавание объектов в кадре;
- классификаций действий, жестов;
- формирование управляющих команд.

Рассмотрим текущие наработки в данной области:

- Жестовое управление в Android Q от Google, основным недостатком реализации необходимость запоминать жесты, их использование интуитивно непонятно.

- Устройство от Brilliant Service - Mirama's Glass OS, он позволяет совершать и принимать звонки, писать сообщения, используя рукописный ввод, однако сам аппарат имеет крупный размер и достаточно большой вес, что увеличивает нагрузку, а в следствии уменьшает время использования данного аппарата.

- Датчик Leap Motion, с помощью которого возможно управлять некоторыми приложениями (рис. 1), но недостатком является отсутствие стандартизации управления, то есть для каждого программного продукта используется собственный набор жестов, что добавляет громоздкость данной системе управления.

Из всего рассмотренного можно сделать вывод, что существующие технические и программные решения в данной предметной области обладают низкой производительностью и качеством – частота кадров и точность распознавания жестов в них является недостаточной, что ограничивает область применения данных решений. Дополнительно следует выделить то, что для разных программных продуктов используются различные системы управления, что повышает сложность использования данных продуктов. Универсального устройства, успешно решающего задачу качественного бесконтактного управления, таким образом, в настоящий момент не существует. Поэтому разработка такого программно-аппаратного комплекса является актуальной задачей.

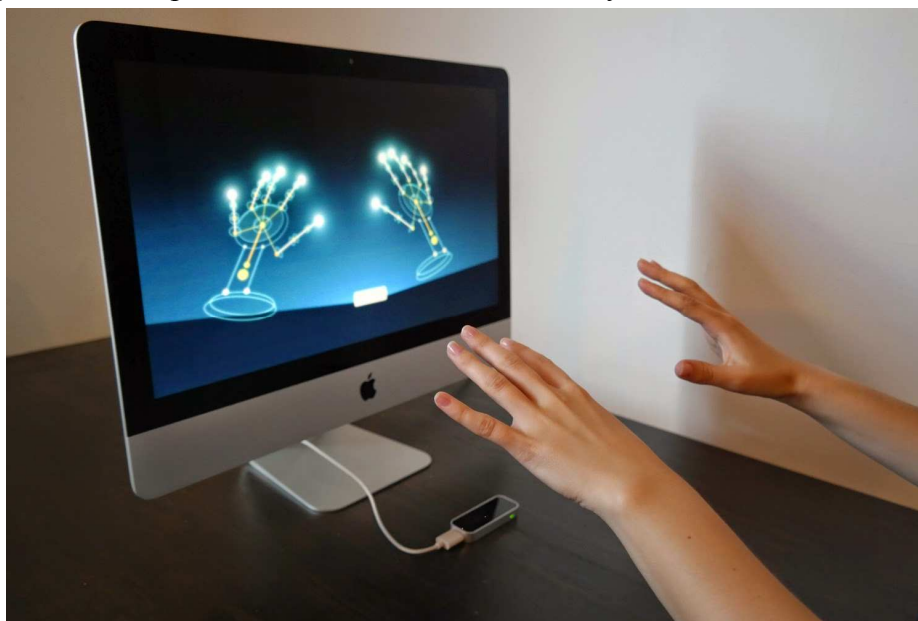


Рис. 1. Работа Leap Motion

В ходе предварительных исследований рынка и конкурентов, а также существующих программных и аппаратных решений в области компьютерного зрения сформулирована следующая концепция структуры системы бесконтактного управления (рис. 2).

Реализация представленных в структуре модулей позволит получить комплексное решение, обладающее следующими особенностями:

- универсальный подход к управлению мультимедийным программным обеспечением;

- большая интерактивность и функциональные возможности по сравнению с классическим подходом на основе клавиатуры и мыши, что открывает новые перспективы для творчества и разработки мультимедийного контента;
- возможность многопользовательской работы;
- организация бесконтактного управления с минимизацией эффекта усталости для пользователя за счет оптимального размещения аппаратного модуля и камер;
- возможность адаптации проекта к новым областям применения (виртуальная реальность, системы помощи людям с ограниченными возможностями здоровья).

Таким образом, рассматриваемая система станет новым подходом к организации человеко-машинного взаимодействия.

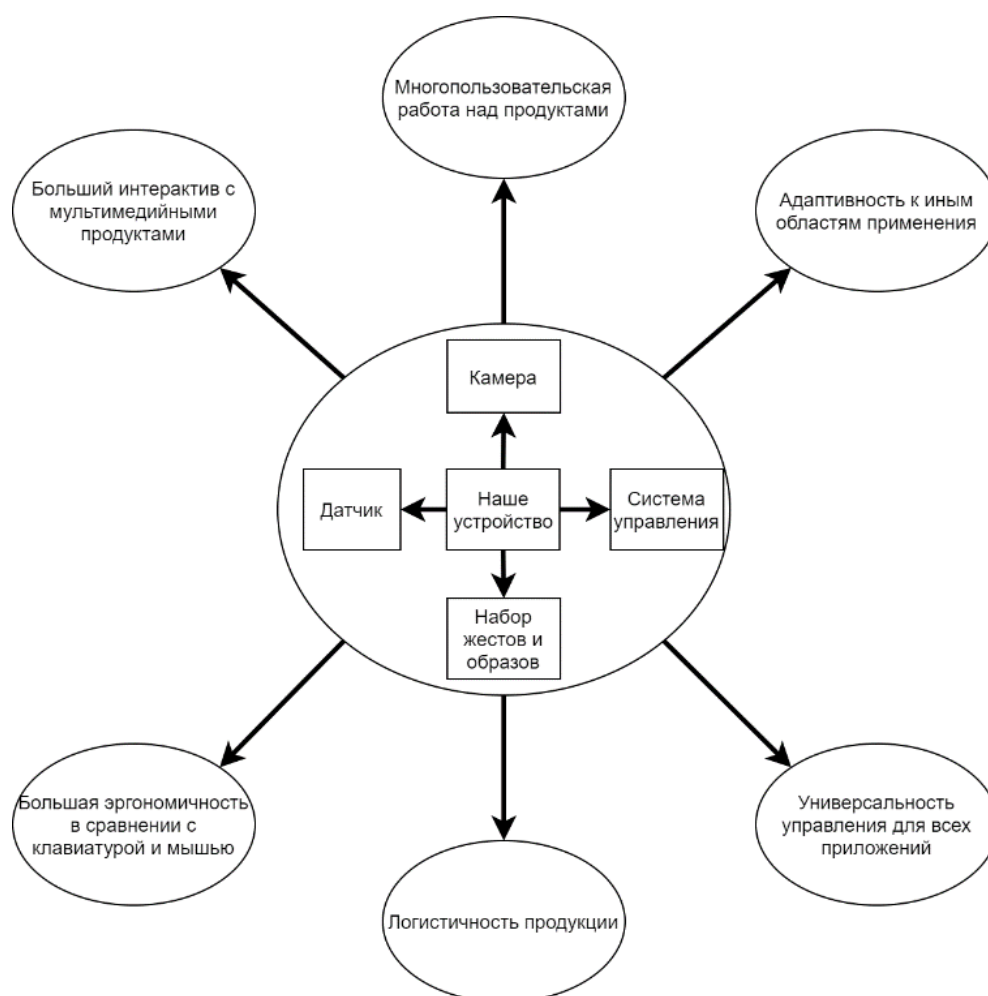


Рис. 2. Структура системы бесконтактного управления

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Огуля, Д., Базилевич, Р. Технология распознавания жестов с помощью инерционно измерительных сканеров и статической камеры //Актуальные научные исследования в современном мире. – 2019. – №. 11-1. – С. 179-182.

УДК 004.89

Суркова Е. О., Вострикова В. В., Обухов А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: esur2506@yandex.ru

АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ OPENCV

Surkova E. O., Vostrikova V.V., Obukhov A.D.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: esur2506@yandex.ru

ANALYSIS AND IMAGEPROCESSING USING OPENCV

Аннотация: В данной статье рассматриваются алгоритмы библиотеки OpenCV, применяемые для анализа и обработки изображений. Приведено описание алгоритмов и способы их применения для решения задач компьютерного зрения.

Ключевые слова: алгоритмы, компьютерное зрение, обработка изображений, обнаружение объектов, OpenCV.

Abstract. This article discusses the algorithms of the OpenCV library used for image analysis and processing. The description of algorithms and ways of their application for solving computer vision problems is given.

Keywords: algorithms, computer vision, image processing, object detection, OpenCV

Компьютерное зрение является одной из самых востребованных и динамично развивающихся областей искусственного интеллекта на сегодняшний день и позволяет автоматизировать процессы в самых разных сферах труда, таких как медицина, сельское хозяйство, промышленное производство и т.д.

Технологии компьютерного зрения используются для распознавания жестов и рукописного текста, обработки изображений, получения информации об объектах на изображении или видео.

Большие возможности для работы с компьютерным зрением предоставляет библиотека OpenCV. Это библиотека с открытым исходным кодом, включающая все необходимые алгоритмы для обработки визуальной информации. Она разработана на C/C++, но также имеет реализации для Python, C#, Ruby и других языков.

В данной статье рассматривается использование алгоритмов OpenCV для анализа изображений.

Для анализа изображений применяют разные методы, например, используют информацию о цвете или геометрические свойства целевого объекта, полученные с помощью обучения специального классификатора.

Один из способов анализа изображений – цветовая сегментация. Это довольно простой метод, который заключается в том, что мы можем найти объект по заранее заданным значениям цвета.

На первом шаге считывается кадр из видеопотока или исходное изображение. Затем при необходимости изменяется размер полученного изображения.

Далее изображение конвертируется из формата RGB в HSV с помощью функции `cvtColor()`. HSV – модель представления цветового пространства, аналогичная RGB. HSV включает в себя значения оттенка, насыщенности и яркости цвета. Канал оттенка обозначает тип цвета, что позволяет упростить цветовую сегментацию изображения. Исходное изображение и результат его конвертации в формат HSV представлены на рисунке 1 и на рисунке 2 соответственно.



Рис. 1. Исходное изображение



Рис. 2. Изображение в формате HSV

После чего полученное HSV-изображение преобразуется в бинарное с помощью функции `inRange()`. Эта функция фильтрует входное изображение используя заданные пороговые значения цвета. Рисунок 3 иллюстрирует применение данного метода.



Рис.3. Бинарное изображение

Ещё один метод, применяемый для анализа фото и видео – это использование каскадов Хаара, позволяющих обнаружить конкретный объект. Каскады Хаара представляют собой классификаторы, заранее обученные на двух наборах данных – с положительными и отрицательными изображениями. В качестве положительных используются изображения целевого объекта, в качестве отрицательных – изображения любых других объектов. Принцип работы каскадов Хаара заключается в следующем: рассматриваются соседние прямоугольные области, суммируются значения интенсивности пикселей в каждой из них, затем вычисляется разности между полученными суммами. Этот алгоритм позволяет быстро распознавать нужный объект в кадре. OpenCV имеет обученные каскады, способные распознавать части тела (например, лицо или глаза), людей, автомобили. Также OpenCV предоставляет инструменты для обучения собственных каскадов. Для того чтобы их использовать, сначала нужно создать объект класса `CascadeClassifier`, который получает заранее обученный каскад в формате xml-файла. Затем вызывается функция `detectMultiScale()`, которая обрабатывает входное изображение и выдаёт результат обнаружения объекта. На рисунке 4 представлен результат применения каскада для распознавания людей на фото.

В некоторых задачах требуется определить движущиеся объекты на видео. Для этого находится разность двух последовательно считанных кадров с помощью функции `absdiff()`. Затем, как правило, результат фильтруется от шума и выделяется кромка объекта белым цветом. Пример работы данного метода изображён на рисунке 5.

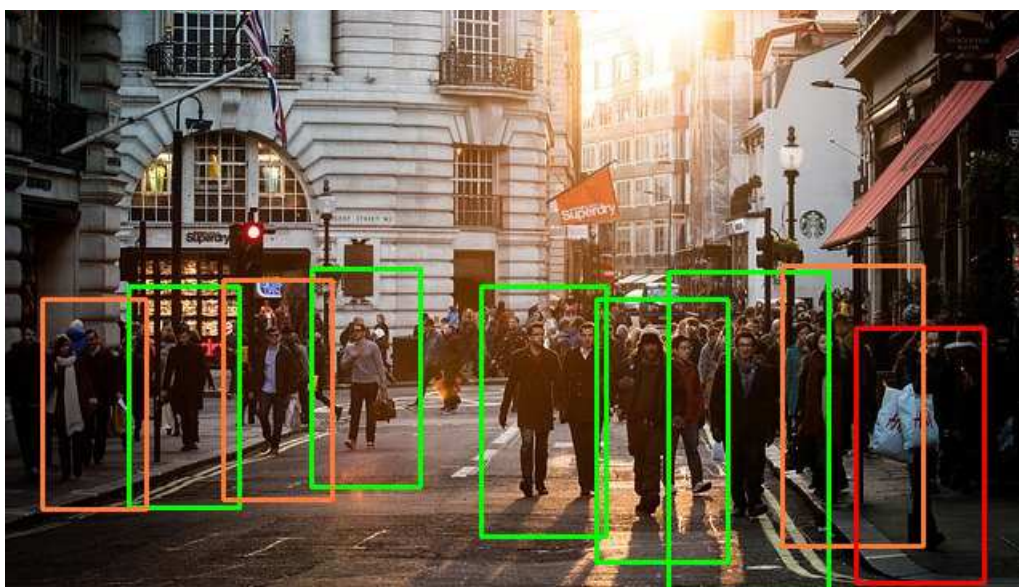


Рис. 4. Использование каскада Хаара для обнаружения людей на изображении

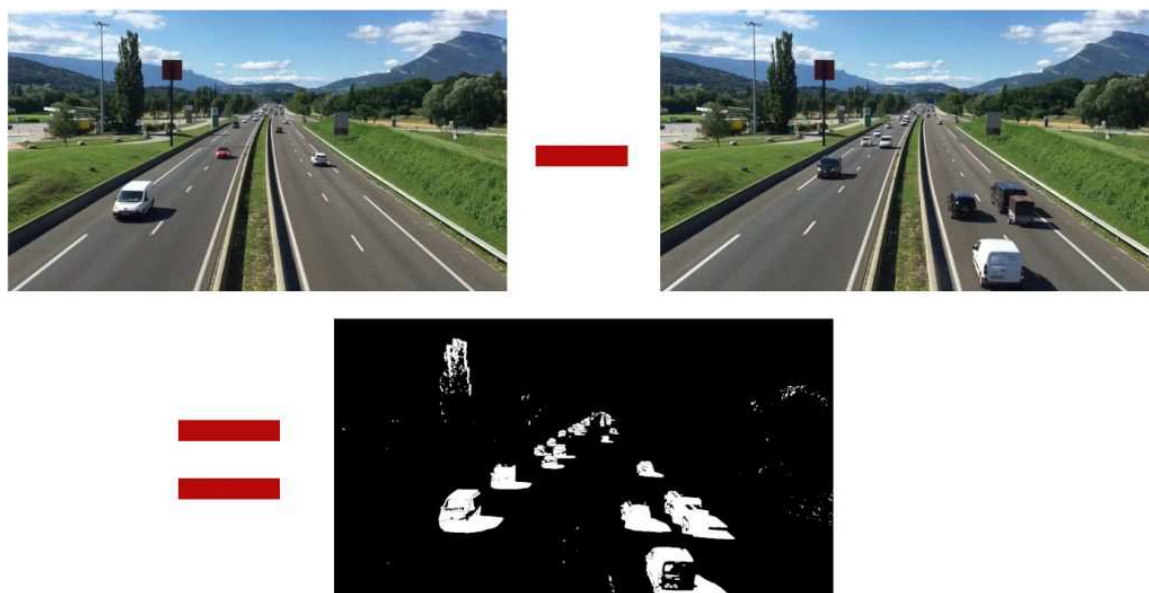


Рис.5. Пример использования функции absdiff()

Рассмотренные алгоритмы позволяют быстро обработать и проанализировать изображение. Они могут быть успешно применены в таких задачах компьютерного зрения, как обнаружение, отслеживание и классификация объектов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Cameron, K., Islam, M. S. Multiple Objects Detection using HSV //NAECON 2018-IEEE National Aerospace and Electronics Conference. – IEEE, 2018. – С. 270-273.
2. Jalled, F., Voronkov, I. Object detection using image processing //arXiv preprint arXiv:1611.07791. – 2016.
3. Soo, S. Object detection using Haar-cascade Classifier //Institute of Computer Science, University of Tartu. – 2014. – Т. 2. – №. 3. – С. 1-12.

Секция

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН



УДК 621.576.5

Альсаадави М. А.^{1,2}

¹ Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

² Северный технический университет, Ирак, г. Мосул

^{1,2}e-mail: mahmoodaaj85@gmail.com,

КОРРОЗИЯ ТРУБ В АБСОРБЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ОХЛАЖДЕНИЯ

Alsaadawi M. A.^{1,2}

¹ Tambov State Technical University, Russia, Tambov

² Northern Technical University, Iraq, Mosul

^{1,2}e-mail: mahmoodaaj85@gmail.com

PIPE CORROSION IN ABSORPTION COOLING SYSTEMS

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы коррозии труб, которая может возникать в абсорбционных системах охлаждения помещений и технологических объектов. Проведен анализ исследований, в которых показана эффективность использования ингибиторов коррозии в абсорбционных системах охлаждения и кондиционирования воздуха.

Ключевые слова: коррозия, ингибиторы, абсорбционная система охлаждения, кондиционирование.

Abstract. The article discusses the issues of pipe corrosion, which can occur in absorption cooling systems of premises and technological facilities. The analysis of studies showing the effectiveness of the use of corrosion inhibitors in absorption cooling and air conditioning systems has been carried out.

Keywords: corrosion, inhibitors, absorption cooling system, air conditioning.

Коррозия металла является не просто актуальной проблемой, а достаточно серьезной угрозой. Из-за коррозионных процессов оборудование может выйти из строя, что, в свою очередь, может стать причиной крупных аварий. Предприятия уделяют особое внимание защите своего оборудования от коррозии.

Получение холода в абсорбционных холодильниках осуществляется за счет циркуляции и испарения хладагента, растворенного в жидкости. Абсорбция представляет собой физико-химический процесс поглощения вещества из специальной смеси газов жидкостью или твердым телом. В абсорбционном холодильнике в качестве хладагента чаще всего применяется аммиак, а абсорбентом (поглотителем) выступает аммиачный водный раствор.

В систему холодильного аппарата добавляется также водород и хромат натрия. Водород необходим для выравнивания давления в системе. Хромат натрия предотвращает коррозию на внутренних поверхностях трубок аппарата.

Принцип работы абсорбционного холодильника заключается в испарении хладагента и его циркуляции. Раствор аммиака на трубках из абсорбера попадает в десорбер (генератор). Из него насыщенный раствор поступает в дефлегматор, в котором распадается на исходные элементы - аммиак и воду. В конденсаторе аммиак сжижается, а затем опять попадает в испаритель. А вода, очищенная от аммиака, снова поступает в абсорбер.

Вместо аммиака в агрегатах могут использоваться: ацетон, раствор бромистого лития, ацетилен. В абсорбционных холодильниках, как правило, происходит естественная циркуляция воздуха.

Абсорбер - основной аппарат установки, в которой осуществляется абсорбция. Предназначается для поглощения жидким поглотителем - абсорбентом - паров холодильного агента, образующихся в испарителе. Выполняется в виде спиральной трубы (змеевика), оканчивающейся цилиндрическим бачком со специальным зарядным штуцером с ввинченной запорной иглой, через который аппарат заряжается водоаммиачным раствором. В некоторых холодильниках после зарядки аппарата зарядный штуцер удаляется, а конец трубки заваривается. Температура абсорбера должна быть на 10...15 °С выше температуры окружающего воздуха.

Рабочий раствор - это водоаммиачный раствор, в котором аммиак - хладагент, а вода - абсорбент (поглотитель паров аммиака из испарителя). Аммиак - бесцветный газ с острым запахом, токсичен. Обладает хорошей объемной холодопроизводительностью (2165 кДж/м³ против 127,5 кДж/м³ хладона R12), массовая холодопроизводительность - 1100 кДж/кг против 118,6 кДж/кг хладона R12 при температуре конденсации 300 °С и испарения -150 °С. Предельно допустимая концентрация аммиака в рабочих помещениях 0,02 г/м³. При содержании его в воздухе в количестве 11...15 % смесь горит желтоватым пламенем, а при 16...27 % - взрывоопасна. К черным металлам (чугун, сталь) аммиак нейтрален, но вызывает коррозию меди, цинка, бронзы, которые нельзя применять в конструкции аппаратов.

К настоящему времени накоплено большое количество данных о свойствах аммиака и конструкциях холодильной аппаратуры. Однако сведения о коррозии конструкционных и прокладочно-уплотнительных материалов в условиях работы аммиачных холодильных установок в литературе малочисленны.

Стали (углеродистые, низколегированные, нержавеющей) и чугуны могут быть использованы для изготовления водно-аммиачных абсорбционных холодильных установок. При этом в водно-аммиачный раствор необходимо вводить ингибитор коррозии. Ингибиторы не оказывают значительного влияния на скорость коррозии, они способствуют образованию тонких, плотных, хорошо сцепленных с поверхностью металла пленок. Тем самым устраняется опасность забивания узких сечений трубопроводов продуктами коррозии. Хроматы применяют также для защиты от коррозии абсорбционных

холодильных установок, для предотвращения коррозии меди и ее сплавов в водных растворах солей меди, коррозии магния в воде и водных растворах солей, коррозии алюминия, железа и меди в растворах.

Применение ингибиторов, по сравнению с другими методами защиты от коррозии, имеет ряд преимуществ, поэтому ингибиторы коррозии нашли широкое применение. Использование различных видов ингибиторов обуславливается составом металла оборудования, особенностями внешней среды и воздействий, условиями применения оборудования.

В присутствии растворенного кислорода водный раствор бромида лития LiBr очень агрессивен ко многим металлам, включая углеродистую сталь и медь. Тем не менее, в герметичной среде внутри хорошо спроектированной и тщательно управляемой абсорбционной машины, кислорода присутствует очень мало, и скорость коррозии значительно снижена. Для диапазона температур традиционного применения одноступенчатых абсорбционных машин углеродистая сталь и медь являются предпочтительными материалами конструкции.

В течение длительного срока службы абсорбционной системы охлаждения может происходить значительная коррозия материалов конструкции, поэтому необходимо предпринимать меры для минимизации ее воздействия. Основными методами снижения коррозионной активности рабочей жидкости являются контроль показателя pH и использование ингибиторов коррозии.

Процесс коррозии стали (или меди) в присутствии электролита, такого как водный раствор бромида лития, представляет собой многостадийную реакцию окисления-восстановления, в которой ионы железа (или меди) покидают твердую поверхность и соединяются с кислородом на некотором расстоянии от поверхности. Это оставляет твердую поверхность основного металла доступной для развития коррозионных процессов. Окислительный потенциал раствора сильно зависит от уровня pH в кислотном диапазоне. Со временем по мере образования газообразного водорода внутри контура, щелочные свойства раствора увеличиваются, поэтому предпочтительно поддерживать pH близким к нейтральному.

Для высокотемпературных систем требуются специальные материалы для обеспечения длительного срока службы абсорбционной системы охлаждения. Медно-никелевые сплавы лучше противостоят коррозии при высокой температуре, чем медь. Трубы, сделанные из медно-никелевого сплава, могут заменить медные трубы без существенных изменений в конструкции, за исключением некоторого снижения коэффициента теплопередачи. Однако медно-никелевый сплав относительно дорог и используется только тогда, когда медь не обеспечивает достаточного срока службы.

Основная задача, возникающая при разработке конструкции абсорбционной системы охлаждения, заключается в минимизации электрохимического потенциала между трубками и трубной решеткой. Нержавеющие стали часто имеют точечные и коррозионные трещины в присутствии высокотемпературного бромида лития LiBr.

Хорошая совместимость наблюдается с большинством материалов на основе резины и полимеров. В системах с бромада лития LiBr использование уплотнений из таких материалов не представляют особой проблемы.

Абсорбционные системы охлаждения оснащаются максимально устойчивыми к коррозии материалами и компонентами, что обеспечивает им длительный срок службы и безаварийную работу. Надежность абсорбционных систем охлаждения определяется высоким качеством материалов и сборки при его создании, должным уровнем обслуживания.

Список использованных источников

1. Холодков, А.О. Результаты экспериментальных исследований генераторных узлов абсорбционных холодильных приборов, работающих в широком диапазоне температур окружающей среды / А. О. Холодков, А. С. Титлов // Холодильная техника и технология. – 2017. – Т. 53, № 5. – С. 4-13.
2. Adsorption-enrichment characterization of CO₂ and dynamic retention of free NH₃ in functionalized biochar with H₂O/NH₃. H₂O activation for promotion of new ammonia-based carbon capture / D. Feng, D. Guo, Y. Zhang, S. Sun, Y. Zhao, G. Chang, Y. Qin // Chemical Engineering Journal. – 2021. – Vol. 409. – № 128193.

УДК 67.02

Глебов А. О., Жило А. А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: glebov.alex@inbox.ru,

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ ПРЕСС-ФОРМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ

Glebov A. O., Zhilo A. A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: glebov.alex@inbox.ru

ANALYSIS OF THE MANUFACTURABILITY OF THE VULCANIZATION MOLD OF OPTIMAL TOPOLOGY

Аннотация. Приведены результаты топологической оптимизации вулканизационной пресс-формы по критерию равномерности температуры в объеме заготовки из резиновой смеси. Данное решение проанализировано с точки зрения технологичности. Проведена инженерная доработка конструкции пресс-формы.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, пресс-форма, вулканизация, технологичность.

Abstract. The results of the topology optimization of the vulcanization mold according to the criterion of temperature uniformity in the volume of the workpiece from the rubber mixture are presented. The manufacturability of this solution is analyzed. Engineering refinement of the mold design was carried out.

Keywords: topology optimization, mold, vulcanization, manufacturability.

Стремительное увеличение вычислительных мощностей за последние три десятилетия послужило стимулом для развития новых подходов к проектированию легких и функциональных конструкций на основе методов топологической оптимизации [1]. В 1993 г. был предложен наиболее простой метод эволюционной топологической оптимизации [2]. В дальнейшем развитие этих методов следовало по пути совершенствования вычислительных алгоритмов и расширения сферы их применения. В частности, в 2004 г. авторы работы [3] предложили метод эволюционной топологической оптимизации по критерию температуры в заданной точке. На практике часто ставится задача получения равномерных температурных полей. Например, от точности поддержания температуры в объеме заготовки из резиновой смеси в процессе ее вулканизации напрямую зависит качество получаемого резинотехнического изделия.

В данной работе рассматривается результат топологической оптимизации пресс-формы для изготовления резиновой мембраны с точки зрения технологичности. Оптимизация выполнена с помощью модификации метода, предложенного в работе [3], по критерию равномерности температурного поля в объеме мембраны. Ограничения на объем пресс-формы не применялись, рассматривалась только тепловая задача.

Результат топологической оптимизации осесимметричной пресс-формы приведен на рис. 1. Разность между максимальной и минимальной температурами мембраны в стационарном режиме составила $2,4 \cdot 10^{-3}$ °С. Однако, как видно из представленных данных, конструкция нетехнологична. Изготовление воздушного кармана, препятствующего передаче тепла от изделия к цилиндрической стенке пресс-формы, такого профиля не представляется возможным с помощью традиционных методов механической обработки. В связи с этим требуется инженерная интерпретация полученного решения.

Основная задача состояла в создании кольцевого воздушного кармана такой формы, которая будет проста в изготовлении и не нарушит жесткость конструкции. Предложен карман прямоугольного профиля в матрице пресс-формы, как показано на рис. 2.

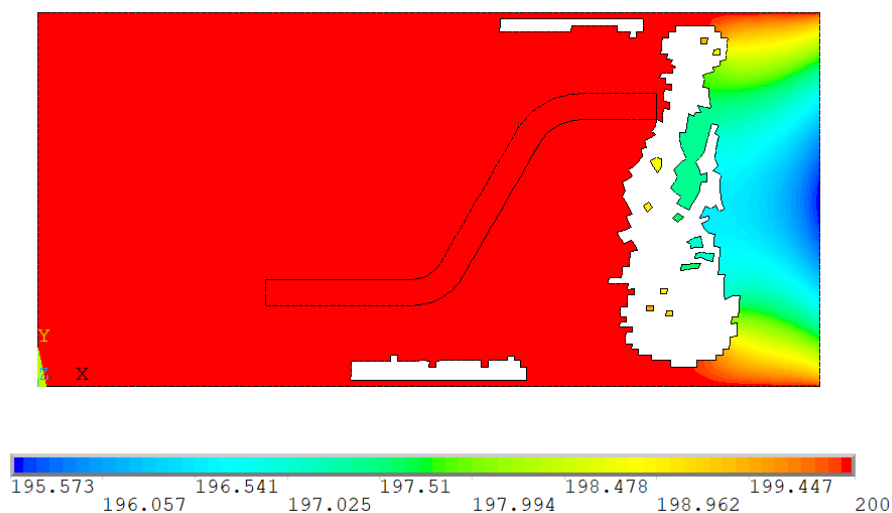


Рис. 1. Температурное поле пресс-формы оптимальной топологии

Рассмотрены два возможных варианта получения кармана: токарной обработкой и фрезерованием. Для выбора оптимальной технологии использовались инструменты из каталога компании Sandvik Coromant. Данный карман представляет собой торцевую канавку, для точения которой потребуются специальный инструмент с изогнутой державкой QFT-RFL50C3232-220В и твердосплавной пластиной шириной 8 мм [4], см. рис. 3.

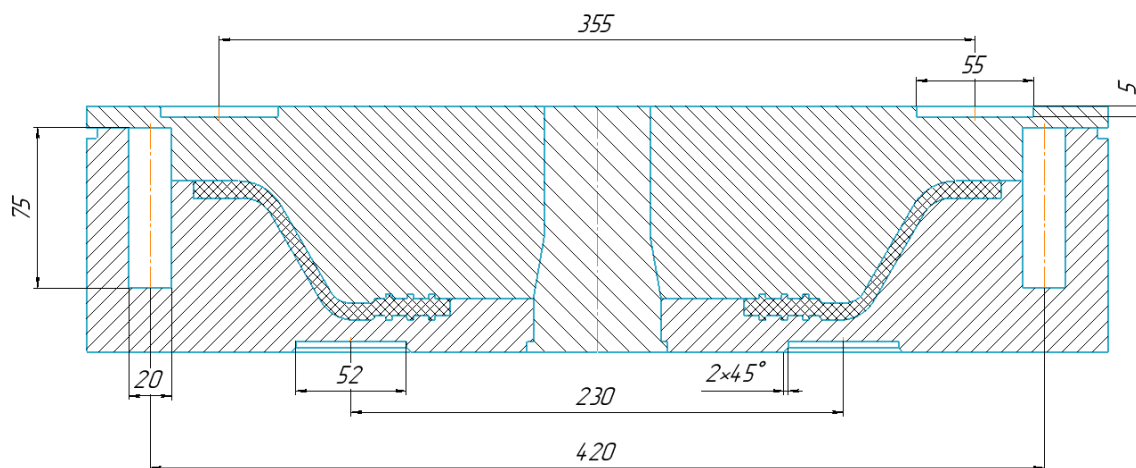


Рис. 2. Инженерная интерпретация решения задачи топологической оптимизации

Расчет времени обработки проводился с помощью системы числового программного управления Sinumerik в соответствии с рекомендуемыми режимами резания (подача – 0,15 мм/об., скорость – 170 м/мин), см. рис. 4. Для обработки канавки на глубину 50 мм потребуется 23 мин. Отметим, что начальные 20 мм канавки целесообразнее получить растачиванием.

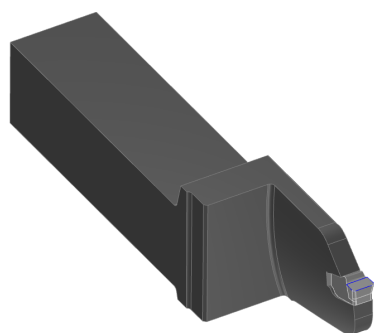


Рис. 3. Инструмент для обработки торцевых канавок

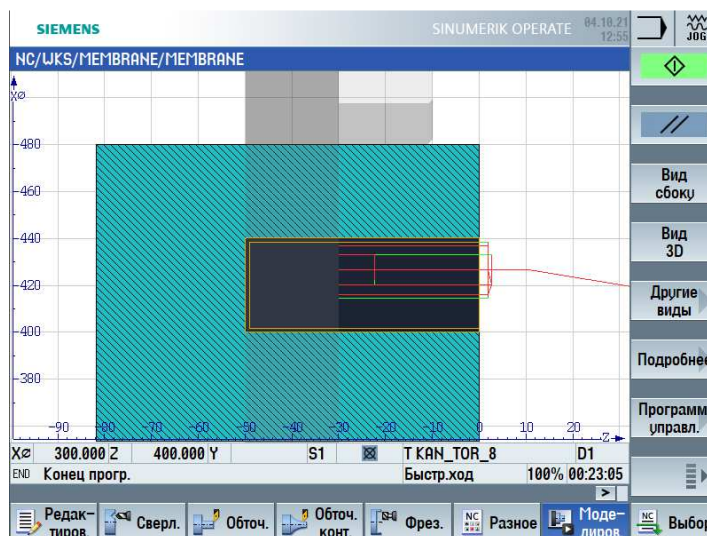


Рис. 4. Моделирование токарной обработки

В случае фрезерной обработки потребуется цельнотвердосплавная концевая фреза диаметром 20 мм [5]. При подаче 0,07 мм/зуб и скорости резания 180 м/мин время обработки кольцевого кармана составит 8 мин 46 с. Таким образом, с точки зрения производительности обработки фрезерная технология изготовления подобной пресс-формы оптимальной топологии выглядит предпочтительнее. Однако при оценке рентабельности технологии следует учитывать размер партии деталей, а также стойкость и стои-

мость инструмента. По данным показателям фрезерная технология проигрывает ввиду расчетной стойкости 2,8 деталей при высокой стоимости цельнотвердосплавной фрезы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-1088.2021.4).

Список использованных источников

1. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method / M. P. Bendsøe, N. Kikuchi // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. – 1988. – Vol. 71, № 2. – P. 197–224.
2. A simple evolutionary procedure for structural optimization / Y. M. Xie, G. P. Steven // *Comput. Struct.* – 1993. – Vol. 49, № 5. – P. 885–896.
3. Evolutionary topology optimization for temperature reduction of heat conducting fields / Q. Li, G. P. Steven, Y. M. Xie, O. M. Querin // *Int. J. Heat Mass Transf.* – 2004. – Vol. 47, № 23. – P. 5071–5083.
4. Державка CoroCut® QF для торцевой обработки канавок QFT-RFL50C3232-220B // Сайт Sandvik Coromant (<https://www.sandvik.coromant.com/ru/products/pages/productdetails.aspx?c=QFT-RFL50C3232-220B>) Просмотрено: 04.10.2021.
5. Цельнотвердосплавная концевая фреза CoroMill® Plura для стабильного многопрофильного фрезерования R216.24-20050FCC44P 1620 // Сайт Sandvik Coromant (<https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/productdetails.aspx?c=R216.24-20050FCC44P%201620>) Просмотрено: 04.10.2021.

УДК 004.021

Зимарина Д. В.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: zimarina.darya@bk.ru,

**ПРОВЕРКА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧАТЕЛЯ КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ МЕТОДИКИ ПРОВЕРКИ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Zimarina D. V.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: zimarina.darya@bk.ru

**CHECKING THE RADIATION PROTECTION OF AN X-RAY EMITTER AS AN
INTEGRAL PART OF THE METHODOLOGY FOR CHECKING THE
OPERATIONAL PARAMETERS OF X-RAY DIAGNOSTIC DEVICES**

Аннотация: В данной работе поставлена задача рассмотреть методику проверки радиационной защиты рентгеновского излучателя, санитарные правила и нормативы, предъявляемые к рентгенодиагностическим аппаратам, а также приборы для контроля радиационной защиты.

Ключевые слова: Радиационная защита, рентгеновский излучатель, мощность дозы, рентгенодиагностический аппарат, дозиметр.

Abstract. In this paper, the task is to consider the methodology for checking the radiation protection of an X-ray emitter, sanitary rules and regulations for X-ray diagnostic devices, as well as devices for monitoring radiation protection.

Keywords: Radiation protection, X-ray emitter, dose rate, X-ray diagnostic device, dosimeter.

Радиоактивность – это естественное явление, и в окружающей среде присутствуют естественные источники излучения. Ионизирующие излучения и радиоактивные вещества с пользой применяются во многих сферах – от производства энергии до использования в медицине. Радиационные риски, которым в результате этих применений могут подвергаться работники, население и окружающая среда, подлежат оценке и должны в случае необходимости контролироваться. В соответствии с требованиями главы 9 Сан-ПиН 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» организации и пользователи рентгеновских медицинских аппаратов в рамках проведения

производственного контроля за обеспечением радиационной безопасности должны организовывать и осуществлять контроль эксплуатационных параметров медицинских рентгеновских аппаратов (РДА) проводится с целью определения этих параметров нормативно-технической документации (прежде всего эксплуатационной документации на изделие) с целью подтверждения исправности РДА (обеспечения его нормального функционирования при проведении рентгенодиагностических исследований с соблюдением мер радиационной безопасности) [1-4].

Перечень эксплуатационных параметров медицинского рентгеновского оборудования, подлежащих контролю, включает в себя проверку радиационной защиты рентгеновского излучателя.

Проверку защитных излучателей, диафрагм и тубусов следует проводить при анодном напряжении в соответствии с таблицей 1 (СанПиН 2.6.1.1192-03) и анодном токе не менее 2 мА. Обработку результатов проводят в соответствии с п. 12 Приложения 11 (СанПиН 2.6.1.1192-03) «Требования к проведению радиационного контроля» по усредненному значению мощности дозы [5-7].

Таблица 1. Значение рабочей нагрузки W и анодного напряжения U для расчета стационарной защиты рентгеновских кабинетов

Рентгеновская аппаратура	Рабочая нагрузка W , (мА×мин)/нед	Анодное напряжение, кВ
Рентгенографический аппарат с люминесцентным экраном и оптическим переносом изображения, пленочный и цифровой	1000	1

Для контроля радиационной защиты может быть использован, например, дозиметр типа ДКС-АТ1121, показанный на рис. 1. Окно излучателя – элемент конструкции рентгеновского излучателя из которого выходит рабочий пучок рентген-излучения, при испытаниях должно быть закрыто диафрагмой или защитной заглушкой, полностью перекрывающими поток рентгеновского излучения.



Рис. 1. Дозиметр ДКС-АТ1121

Свинцовый эквивалент заглушки должен быть не менее 2,0 мм Р_б при номинальном напряжении аппарата до 70 кВ включительно, 2,5 мм – от 70 до 100 кВ включительно, 3,0 мм – от 100 до 150 кВ включительно. Измерения проводят в 4-6 доступных точках, расположенных на расстоянии 1 м от кожуха излучателя. Точки, в которых проводят измерения, по возможности, должны располагаться справа, слева, спереди, сзади, сверху и снизу от рентгеновского излучателя.

Дозиметр измеряет суммарную дозу от отдельных импульсов рентгеновского излучения и рассчитывает среднюю мощность дозы делением значения дозы на время экспозиции. Мощность дозы для рентгенодиагностических аппаратов излучения после усреднения и приведения к рабочей нагрузке не должна превышать 0,87 мГр/час.

Список использованных источников

1. Блинов, Н.Н., Бердяков, Г.И., Кручинин С.А., Ларчиков Ю.В., Ртищева, Г.М., Солдатов, В.А., Шенгелия, Н.А., Ярославский, В.Л. Методика контроля эксплуатационных параметров рентгенологических аппаратов: утв. Директором, гл.специалистом по лучевой диагностике ДЗ г. Москвы Ю.В. Варшавским 31.03.10 – С. 19-20.
2. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.1192-03.
3. Блинов, Н.Н. Рентгеновские диагностические аппараты. В 1 т. / Под ред. Н.Н. Блинова. – М.: ВНИИМТ, НПО «Экран» – 2001. – 220 с.
4. Нурлыбаев, К., Мартынюк, Ю.Н. Радиационная защита пациентов при рентгенодиагностике – дальнейшие шаги. // АНРИ №3 (62). 2010. С. 53-58.
5. Немтинов, К.В., Ерусланов А.К., Немтинов В.А. Технология автоматизированного синтеза сложных технологических комплексов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. № 1. С. 75–83.
6. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я.Егоров, П.И.Пахомов // Информационные технологии. -2009. № 10. - С. 34-38.
7. Мокрозуб, В.Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 3. С. 68-73.

УДК 67.02

Кожарина Т.В., Карпов С.В.

¹Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: tata.vladimiirovna@gmail.com,

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА 3Д-СКАНИРОВАНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Kozharina T.V., Karpov S.V.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: tata.vladimiirovna@gmail.com

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR 3D SCANNING OF WORN PARTS FOR FINITE ELEMENT ANALYSIS

Аннотация: Проведение инженерного анализа изношенных деталей для изучения эффективности их работы и прогнозирования развития негативных ситуаций представляет собой актуальную задачу. Для этого необходимы данные о геометрии этих деталей, которые могут быть получены при помощи 3D-сканирования. В данной статье на примере изношенного долота глубокорыхлителя предложен алгоритм восстановления геометрии, предусматривающий получение сеточной модели сканируемой детали с ее последующим редактированием и конвертацией для выполнения конечно-элементного анализа.

Ключевые слова: 3D-сканирование, редактирование сеточной геометрии, твердотельная геометрия, износ деталей, конечно-элементный анализ.

Abstract. Computer-aided engineering of worn parts to study the effectiveness of their work and predict the development of negative situations is an actual task. This requires valid geometry of these parts, which can be obtained by 3D scanning. In this article, using the example of a worn-out chisel for tillage process, an algorithm for restoring geometry is proposed, which provides for obtaining a mesh model of the scanned part with its subsequent editing and conversion to finite element analysis.

Keywords: 3D scanning, mesh geometry editing, solid geometry, wear of parts, finite element analysis.

Проведение инженерного анализа изношенных деталей для изучения эффективности их работы и прогнозирования развития негативных ситуаций представляет собой актуальную задачу. Особенно в тех случаях, когда наблюдается их повышенный износ. Примером может являться моделирование почвообработки узлами сельскохозяйственных машин. Рассмотрим в качестве объекта исследования долота

глубококорыхлителя Gaspardo Artiglio. Износ рабочей поверхности долота приводит к существенному изменению характера взаимодействия долота с почвой. Для оценки качества почвообработки в таких реальных условиях требуется получение твердотельной модели изношенного долота.

Создание геометрии при помощи традиционных САД-систем связано с объективными трудностями. Износ часто носит случайный характер и приводит к появлению сложной, трудно формализуемой геометрии. Поэтому единственным эффективным и достоверным способом является трехмерное сканирование. Для реализации этого процесса необходимо разработать эффективный алгоритм сканирования и постобработки данных, чтобы учесть все особенности воссоздаваемой геометрии. Построению такого алгоритма посвящена данная работа.

Был использован 3D-сканер Sense, который монтировался на неподвижный штатив с возможностью плавного перемещения по высоте. Сканируемая деталь располагалась на расстоянии около 40 см на специальном поворотном основании. Долото плавно вращалось, последовательно на трех разных высотах установки сканера. Непосредственное создание поверхностной модели осуществлялось с помощью программного обеспечения данного сканера. Полученные таким образом модели неизбежно содержат графические артефакты (“мусорные” области, оторванные от основной поверхности). Это связано с регистрируемыми помехами и погрешностями. Поэтому необходимо их ручное удаление.

Следующий шаг предусматривал импорт сеточной модели в САПР-системы, позволяющие проводить ее редактирование, см. рис. 1. В данной работе была использована программа Autodesk Fusion 360.

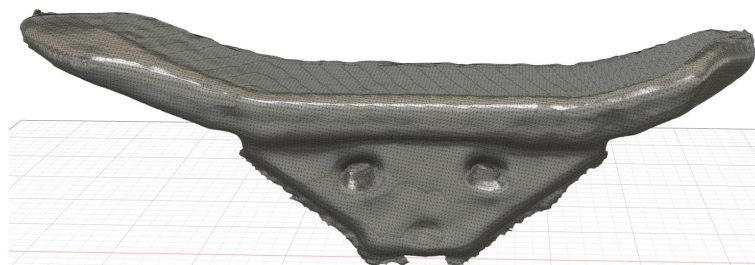


Рис. 1. Сеточная модель долота во Fusion 360.

Перед дальнейшим редактированием необходимо проведение сегментации сеточной модели для выделения областей повышенного интереса. Например, для исследуемого долота такие области располагаются на носовых частях. Такая сегментация создает целевые группы поверхностей и нецелевые. Целевая группа предполагает собой участки модели, на которых отмечается повышенный износ, т.е. максимальное изменение геометрии. Все остальные участки входят в нецелевую группу.

Далее осуществляли полное разделение поверхности модели на группы сеток. Важным этапом являлось определение максимального количества групп сеток для дальнейшего упрощения обработки групп, показано на рис. 2.

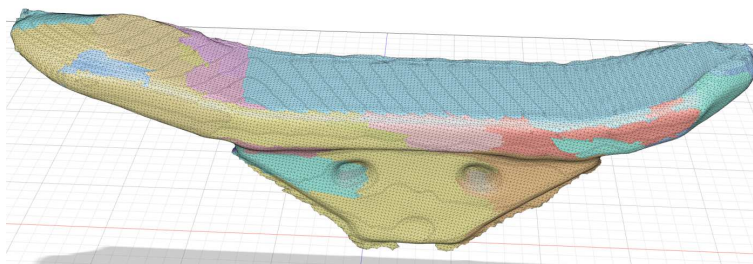


Рис. 2. Сегментирование сеточных групп

Далее строили максимально возможное число первичных целевых групп см. рис. 3. Особое внимание следует уделить сохранению максимально точной геометрии изношенного долота. Отметим, что здесь допустима повторная операция дробления сетки при условии получения низкого качества сегментации существующей поверхности. Данная операция выполняется только один раз для избежания вырождения геометрии исследуемой неровности.

Редактирование данной группы предполагает работу с переходными зонами между целевыми и нецелевыми группами. Наличие таких зон характерно для 3д-сканов среднего и низкого качества. Необходимость редактирования переходных зон в 3д-сканов высокого качества определяется величиной зон повышенного интереса.

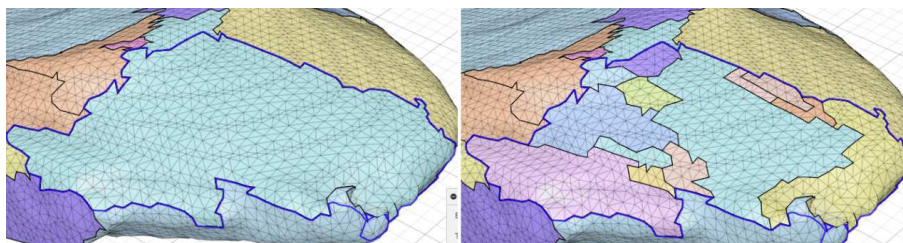


Рис. 3. Максимизация числа целевых групп

Для обработки нецелевой поверхности необходим ряд других специальных операций. Группы сеток объединяются последовательно для трех изометрических плоскостей, избегая острых углов и больших неровностей, вне зависимости от количества поверхностей и граней. Операция объединения может выполняться для каждой поверхности, показано на рис. 4. Следовательно, на основе анализа геометрии модели, нужно минимизировать количество групп сеток для упрощения дальнейших операций.

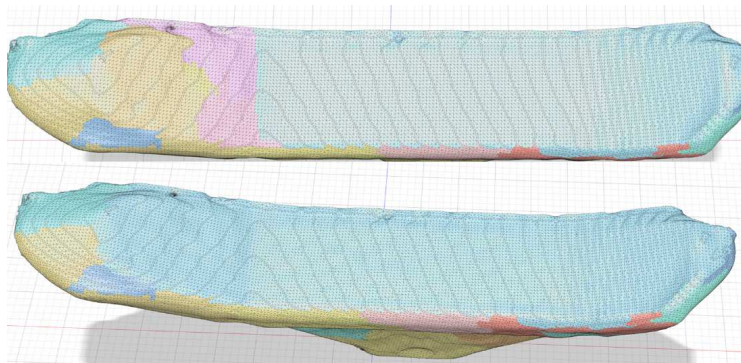


Рис. 4. Объединение нецелевых сеточных групп

Если объединение нецелевых сеточных групп случилось одновременно на нескольких плоскостях модели, то необходимо разделить данную область на несколько областей. Такое дробление приводит к получению дополнительных участков переходных зон, предупреждая тем самым потерю геометрии. Возможное повторное объединение проводится после дробления, при этом нетронутыми остаются только переходные зоны, см. рис. 5.

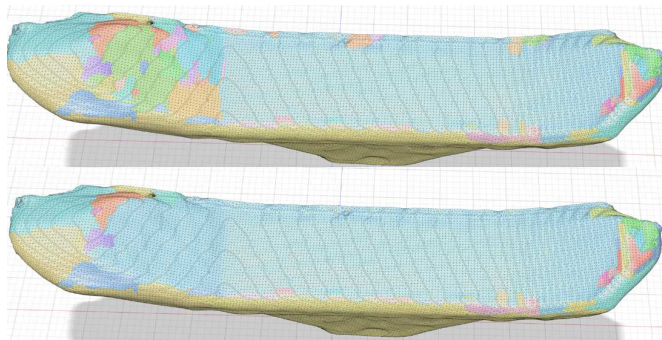


Рис. 5. Дробление нецелевых групп

После дробления продолжается редактирование. По умолчанию во Fusion 360 есть адаптивные параметры сетки. Это означает, что при увеличении или уменьшении модели шаг сетки изменяется соответствующим образом, см. рис. 6. Целью редактирования поверхностей нецелевых групп является увеличение площади каждой сетки с одновременным уменьшением количества этих сеток в группе. Предельное количество элементарных сеток определяется исходя из геометрии изношенного долота. В случае сильного искажения исходной геометрии следует минимизировать шаг сетки.

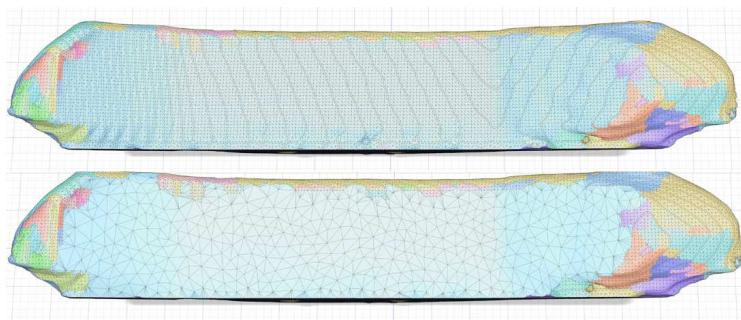
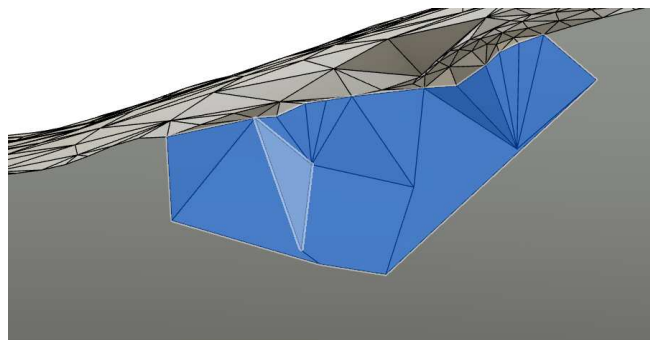
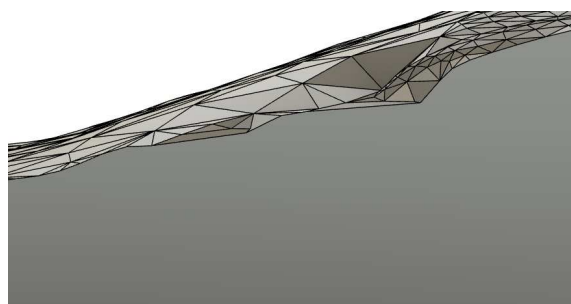


Рис. 6. Редактирование нецелевых групп

Следующий шаг - создание твердотельной геометрии на основе полученных сеточных групп. Для улучшения качества созданной геометрии твердого тела, ее сравнивают с геометрией изношенного долота. Лишние или ненужные грани и плоскости следует удалить. Возможно удаление одной грани или группы граней, примыкающих друг к другу. Результат этого шага изображен на рис. 7.



а - исходная область



б - отредактированная область

Рис. 7. Редактирование твердотельной геометрии

Следующим этапом является использование полученной твердотельной геометрии для проведения конечно-элементного анализа. При этом критерием качества является сходимость численных расчетов. При отсутствии сходимости необходимо возвращение на этап сегментирования целевых сеточных групп с последующим повторением всех этапов.

Таким образом, на основании вышесказанного можно предложить алгоритм восстановления твердотельной геометрии изношенных деталей с использованием 3D-сканирования, изображенный на рис. 8.

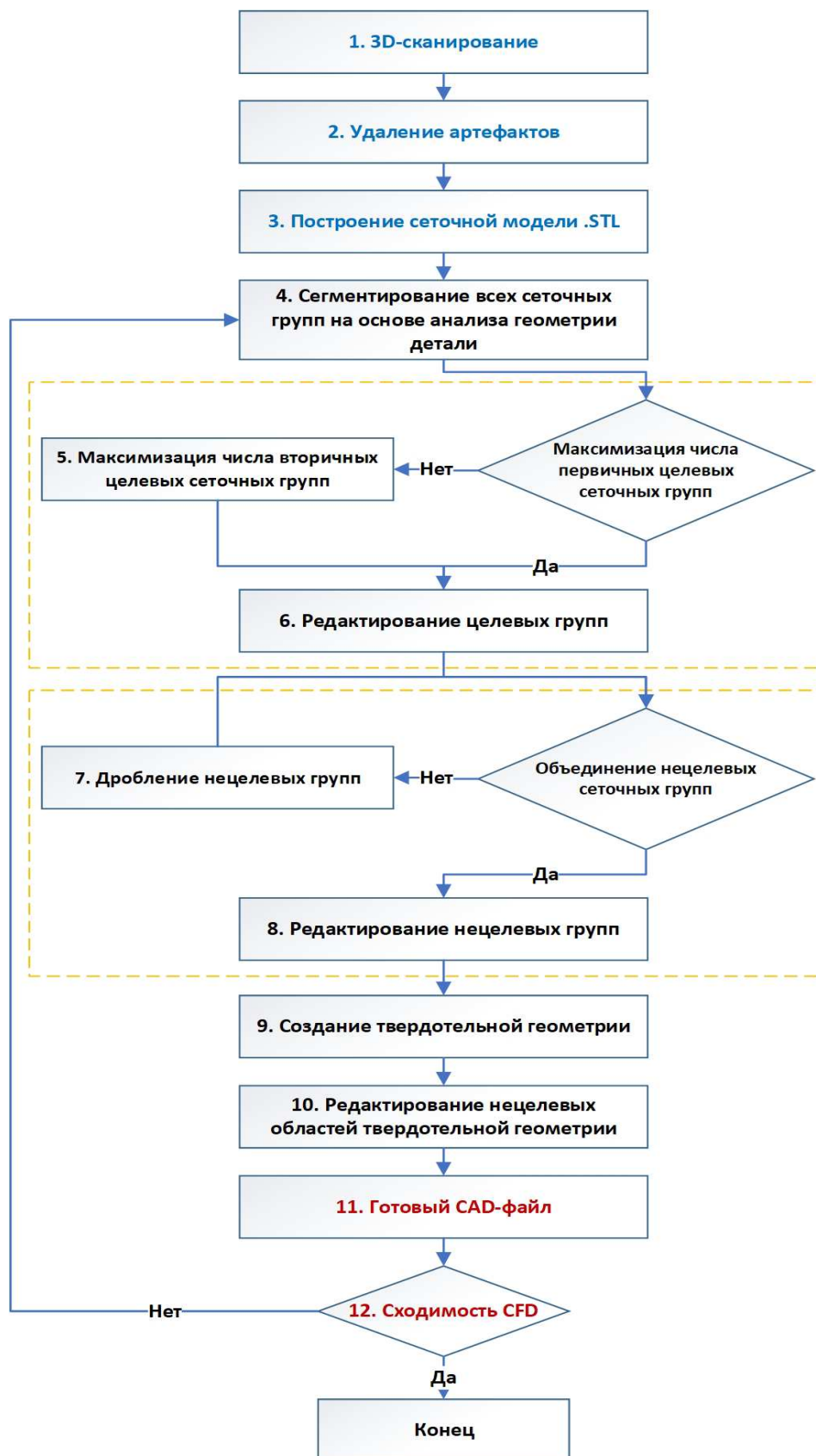


Рис. 8. Алгоритм восстановления твердотельной геометрии

УДК 621.31

Смирнов А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: andrey-smirnov-99@yandex.ru,

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Smirnov A.D.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: andrey-smirnov-99@yandex.ru

SAFETY REQUIREMENTS FOR THE OPERATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS

Аннотация: Рост парка автомобильного транспорта приводит к увеличению количества вредных выбросов в атмосферу продуктов сгорания ископаемого топлива. Широкое внедрение электротранспорта позволит сократить объём выбросов в атмосферу и улучшить качество воздуха. Параллельно идёт развитие инфраструктуры зарядных станций. В данной работе рассматриваются правила безопасности касающиеся, оборудования для зарядки электромобилей.

Ключевые слова: электротранспорт, зарядная инфраструктура, безопасность зарядных станций.

Abstract. The growth of the fleet of motor vehicles leads to an increase in the amount of harmful emissions into the atmosphere of fossil fuel combustion products. The widespread introduction of electric transport will reduce emissions into the atmosphere and improve air quality. In parallel, the infrastructure of charging stations is being developed. This paper discusses the safety rules concerning equipment for charging electric vehicles.

Keywords: electric transport, charging infrastructure, charging station safety.

Широкое внедрение электротранспорта позволит сократить объём выбросов в атмосферу продуктов сгорания ископаемого топлива и улучшить качество воздуха [1]. Крупномасштабные зарядные станции для электротранспорта (Electric Vehicle Charging Stations – EVCS) создаются с возможностью одновременного заряда сотен и более электромобилей, и одновременной интеграции как в существующие, так и заново проектируемые электросети [2]. Существуют три основных метода, используемых для зарядки электротранспорта (Electric Vehicles – EV): (1) проводная зарядка (Conductive Charging), когда аккумулятор электромобиля физически подключается с помощью кабеля к зарядной сети; (2) индуктивная (беспроводная) зарядка (Inductive Charging), ко-

гда электричество передается от магнитной катушки в зарядном устройстве, на катушку, установленную на электротранспорте; (3) замена батареи (Battery Exchange), когда разряженная батарея заменяется на заряженную на специальных станциях обмена (Battery Swapping Station – BSS). Пользователи EV отдают свои предпочтения проводной зарядке из-за её низкой стоимости, высокой эффективности и более простой бизнес-модели.

Предлагаемая структура управления рисками крупномасштабной системы включает три уровня: (1) требования обеспечения безопасности (Safety Considerations); (2) оценка рисков (Risk Assessment); (3) контроль рисков (Risk Control) [3-6].

Защита от поражения током достигается за счет реализации как базовой защиты (Basic Protection) (предотвращения контакта с находящимися под напряжением деталями), так и защиты от неисправностей (Fault Protection) (защиты в случае повреждения изоляции), которая достигается путем отключения питания.

Для обеспечения безопасной эксплуатации зарядных станций необходимо не только соблюдать требования безопасности, но и существующие стандарты и рекомендации, такие как граница вспышки дугового разряда, совместимость с сетями, периодическая проверка оборудования, соблюдение пожарной безопасности, и своевременное техническое обслуживание.

Список использованных источников

1. Nemtinov, V. Information support of decision making in urban passenger transport management / Nemtinov V., Nemtinova Y., Borisenko A., Mokrozub V. // *Transport Problems* – 2017. – Vol. 12 – No. 4 – P.83–90.
2. Wang, B. Electrical Safety Considerations in Large-Scale Electric Vehicle Charging Stations / Wang B., Dehghanian P., Wang S., Mitolo M. // *IEEE Transactions on Industry Applications* – 2019. – Vol. 55 – No. 6 – P.6603–6612.
3. Falvo, M.C. EV charging stations and modes: International standards / Falvo M.C., Sbordone D., Bayram I.S., Devetsikiotis M. // *2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion* – 2014. – P.1134–1139.
4. Борисенко, А.Б. Применение метода ветвей и границ для оптимального выбора аппаратного оформления химико-технологических систем / Борисенко А.Б., Карпушкин С.В. // *Вычислительные технологии* – 2012. – Т. 17 – № 1 – С.35–43.
5. Борисенко, А.Б. Иерархия задач аппаратного оформления технологических систем многоассортиментных химических производств / Борисенко А.Б., Карпушкин С.В. // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления* – 2014. – № 3 – С.113–123.
6. Борисенко, А.Б. Параллельный алгоритм решения трехмерного нестационарного уравнения теплопроводности с использованием явной разностной схемы / Борисенко А.Б., Карпушкин С.В., Глебов А.О. // *Вестник Тамбовского государственного технического университета* – 2010. – Т. 16 – № 3 – С.573–577.

УДК 621.31

Пудовкин А.П.

Тамбовский Государственный Технический Университет, Россия, г.Тамбов
e-mail: Andrey2367890@gmail.com

ПРОИЗВОДСТВО БИОТОПЛИВА НА ПРИМЕРЕ БИОЭТАНОЛА И БИОДИЗЕЛЯ

Pudovkin A.P.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: Andrey2367890@gmail.com

PRODUCTION OF BIOFUELS ON THE EXAMPLE OF BIOETHANOL AND BIODIESEL

Аннотация: Представлены основные технологии производства биотоплива на примере биоэтанола и биодизеля. Перечислены основные способы производства и области применения.

Ключевые слова: биотопливо, биоэтанол, биодизель, производство

Abstract: The main technologies of biofuel production are presented on the example of bioethanol and biodiesel. Their main production methods and application field are listed.

Key word: biofuel, bioethanol, biodiesel, production

Увеличение концентрации населения в городах из-за урбанизации и связанный с ним рост автомобильного транспорта приводит, в том числе, к экологическим проблемам, связанным с вредными выбросами в атмосферу продуктов его сгорания (углекислого газа, оксидов азота и пр.) [1]. Одним из способов решения этой проблемы является производство и широкое использование биотоплива, в частности биоэтанола и биодизеля.

18 октября 2014 года Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации приняла в третьем чтении поправки, позволяющие использовать на транспорте в России не только традиционные, но и альтернативные виды энергии, такие как биодизель, биоэтанол и источники кинетической энергии. Принятие законопроекта будет способствовать переводу муниципального транспорта на альтернативные виды топлива, что позволит снизить стоимость проезда и улучшить экологическую обстановку в городах России [2].

На сегодняшний день лидирующее место среди биотоплива занимает биоэтанол – полученный из растительного сырья этиловый спирт. При смешивании бензина и биоэтанола увеличивается октановое число, уменьшаются выбросы вредных веществ в ат-

мосферу, снижается температура сгорания топлива, что увеличивает рабочий ресурс двигателя.

Технология производства биоэтанола начинается со сбора сырьевых растительных культур, их предварительной подготовки (резка, дробление и т. п.) и превращения содержащихся полисахаридов или дисахаридов в простые углеводы (часто этот процесс не совсем верно называют предварительной ферментацией). Далее следует собственно процесс брожения, отделение твердых отходов от получившейся спиртосодержащей жидкости, ее очистка. На заключительном этапе биоэтанол разделяется дистилляцией, ректификацией и дегидратацией. В последние годы существенным технологическим прорывом в производстве биоэтанола стал отказ от дорогостоящих каскадных установок ректификации этанола в пользу мембранных технологий, что позволило существенно снизить капитальные вложения.

В технологии производства биодизеля различные растительные масла или масла животного происхождения подвергаются традиционной химической обработке. Получающаяся в таком процессе дизельная фракция может использоваться как топливо, а также как сырьё для получения классических нефтехимических продуктов: этилена, пропилена, ароматических соединений и т.п.

Биотопливо «второго поколения» производится на базе древесных отходов; биотопливо «третьего поколения» – на базе переработки водорослей. Из производимого объема более 80 % приходится на биоэтанол и 18 % на биодизель. Оба эти продукта являются важным ресурсом для диверсификации источников энергии, смягчения последствий изменения климата путем сокращения выбросов парниковых газов [3-5].

Список использованных источников

1. Гринин, А.Л. Анализируя глобальные проблемы XXI в. Обзор и прогноз на основе доклада Римского клуба «Come On!» / А.Л. Гринин // Век глобализации – 2020. – Vol. 36 – No. 4 – P.47–64.
2. Nemtinov, V. Information support of decision making in urban passenger transport management / Nemtinov V., Nemtinova Y., Borisenko A., Mokrozub V. // Transport Problems – 2017. – Vol. 12 – No. 4 – P.83–90.
3. Кузнецова, Г.В. Производство биотоплива в развивающихся странах: проблемы и перспективы / Кузнецова Г.В. // Национальные интересы: приоритеты и безопасность – 2012. – Т. 8 – № 45 – С.53–63.
4. Borisenko, A. Efficient GPU-parallelization of batch plants design using metaheuristics with parameter tuning / Borisenko A., Gorlatch S. // Journal of Parallel and Distributed Computing – 2021. – Vol. 154 – P.74–81.
5. Borisenko, A.B. Parallel MPI-Implementation of the Branch-And-Bound Algorithm for Optimal Selection of Production Equipment / Borisenko A.B., Gorlatch S. // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta – 2016. – Vol. 22 – No. 3 – P.350–357.

УДК 004.896

Роговцова Я.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: ioanna.peach.one@gmail.com

ИНДУСТРИЯ 4.0. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ

Rogovtsova Y.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: ioanna.peach.one@gmail.com

INDUSTRY 4.0. KEY FEATURES AND MAIN PRINCIPLES

Аннотация: В работе приводятся характерные особенности четвертой промышленной революции – Индустрии 4.0. Обосновывается содержание, сущность и базовые принципы Индустрии 4.0. Приводятся основные положения концепции инновационного предприятия.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, четвертая промышленная революция, инновационное предприятие.

Abstract. The paper describes the key features of the fourth industrial revolution – Industry 4.0. The content, essence and basic principles of Industry 4.0 are grounded. The basic provisions of the concept of an innovative enterprise are presented.

Keywords: Industry 4.0, fourth industrial revolution, innovative enterprise.

Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0 – термин Industrie 4.0, предложенный на Ганноверской ярмарке 2011 года) предполагает новый уровень организации производства и сопровождения всех стадий жизненного цикла выпускаемой продукции, основанный на массовом внедрении современных информационных технологий в промышленность [1]. Кроме того, к элементам Индустрии 4.0 относятся робототехника, большие данные (Big Data), умные сети (Smart Grid) аддитивные технологии, дополненная и виртуальная реальность [2], промышленный интернет вещей (Industrial Internet of Things – IIoT). Объединение в единую систему вычислительных и физических ресурсов осуществляется с помощью так называемых киберфизических систем (Cyber-Physical System – CPS).

В широком смысле четвертая промышленная революция – это переход на автоматизированное управление предприятием в реальном времени с помощью интеллектуальных систем, в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящей за границы одного предприятия. В узком смысле Индустрия 4.0 (Industrie 4.0) – это один из проектов государственной Hi-Tech стратегии Германии до 2020 года, описывающий

концепцию умного производства (Smart Manufacturing) на базе глобальной промышленной сети интернета вещей и услуг (Internet of Things and Services).

Немецкая академия наук и инженерии (Acatech) описала шесть основных шагов, которые необходимо пройти для организации производства согласно концепции Индустрия 4.0. К ним относятся [3,4]:

1. Компьютеризация (Computerisation). Обеспечение средствами компьютерного управления всех основных компонентов производства.

2. Сетевое взаимодействие (Connectivity). Обеспечение всех технологий проектирования и производства в единую среду для совместного функционирования, обслуживания и др.

3. Обозримость (Visibility). Создание цифрового отображения или виртуального двойника предприятия, позволяющего контролировать деятельность предприятия в реальном времени и принимать обоснованные решения в условиях быстро изменяющейся ситуации. На данном этапе появляется необходимость в сборе больших данных.

4. Прозрачность (Transparency). Связь цифрового отображения с аналитическими системами, обрабатывающими большие данные и решение задач, связанными с извлечением из больших данных знаний (Data Mining).

5. Прогнозирование (Predictive capacity). Применение технологий имитационного и математического моделирования, позволяющих осуществлять прогнозы (прогнозная или предиктивная аналитика).

6. Адаптивность (Adaptability). Возможность на основе прогноза осуществлять изменения в управлении предприятием в ответ на изменения внешней среды.

Следует отметить, что перспективы развития киберфизических систем вероятно будут оказывать влияние на общество в целом, и поэтому должны рассматриваться не только в техническом, а в более широком социокультурном аспекте

Список использованных источников

1. Шваб, К. Технологии Четвертой промышленной революции / К. Шваб, Н. Дэвис – БОМБОРА, 2018.– 320с.

2. Nemtinov, V.A. Visualization of a virtual space and time model of an urban development territory / Nemtinov V.A., Gorelov A.A., Nemtinova Y.V., Borisenko A.B. // Scientific Visualization – 2016. – Vol. 8 – No. 1 – P.120–132.

3. Schuh, G. Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies - Update 2020 / Schuh G., Anderl R., Dumitrescu R., Krüger A., Hompel M. // acatech STUDY – 2020.

4. Борисенко, А.Б. Применение OpenMP для оптимального выбора аппаратурного оформления многоассортиментных производств / Борисенко А.Б., Карпушкин С.В. // Вычислительные технологии – 2015. – Т. 20 – № 4 – С.17–28.

Секция

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ



УДК 004.94, 535, 51

Доненко И.Л.¹, Доненко Л.Н.², Лукьяненко В.А.³

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Россия,
г.Симферополь

¹e-mail: idonenko2012@gmail.com

²e-mail: ldonenko@mail.ru

³e-mail: art-inf@yandex.ru

**РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
ФРАКТАЛЬНОГО ШИФРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ
ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО СИГНАЛА В ВОЛС**

Donenko I.L.¹, Donenko L.N.², Lukyanenko V.A.³

Crimea federal university V.I. Vernadskiy, Russia, Simferopol

¹e-mail: idonenko2012@gmail.com

²e-mail: ldonenko@mail.ru

³e-mail: art-inf@yandex.ru

**DEVELOPMENT OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR
FRACTAL ENCRYPTION AND TRANSMISSION OF A DETERMINISTIC
SIGNAL IN A FIBER OPTIC COMMUNICATION SYSTEM**

Аннотация: В связи с чрезвычайно широким распространением оптоволокна в качестве среды передачи довольно актуальной является проблема его защищенности от несанкционированного съема информации. Такая проблема несет в себе критическую уязвимость для банковских, торговых, силовых и других структур. Благодаря использованию теории фракталов и хаоса в проекции сигнала, возможно его шифрование методами закручивания в оптический вихрь.

Ключевые слова: фрактал, оптический вихрь, оптическое волокно, ВОЛС, динамический хаос, криптография, оптоэлектроника, программирование, фрактальное шифрование.

Abstract. The problem of optical fiber protection from unauthorized access is getting quite urgent nowadays due to extremely wide implementation of fiber-optic transmission system as a medium for data transfer. Such a problem means critical vulnerability for banking, trade, security and other structures. The use of the theory of fractals and chaos in the projection of the signal makes it possible to encrypt the last one by splitting it into an optical vortex.

Keywords: fractal, optical vortex, optical fiber, fiber-optic communication line (FOCL), dynamic chaos, cryptography, optoelectronics, programming, fractal encryption.

Передача данных в современных компьютерных сетях производится посредством волоконно-оптических линий связи. Принцип которых основан на передаче информации внутри кварцевого стекла с помощью лазерного луча. При этом сам поток информации внутри волокна, практически никак не защищен от внешнего проникновения. В работе Доненко И.Л. и Жидкова О.А. [1], рассмотрен принцип закручивания потока фотонов в оптический вихрь с фрактальной структурой.

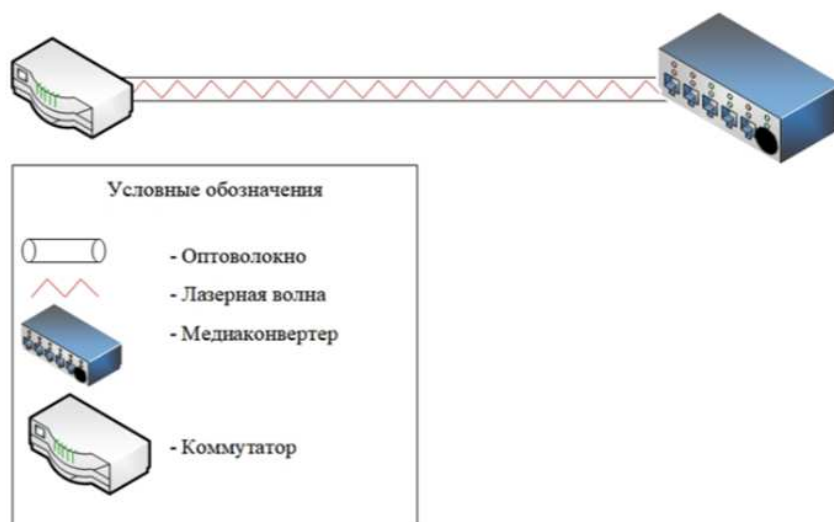


Рис. 1. Принцип работы технологии GPON

Для более точного закручивания вихрей в данной работе мы предлагаем авторское ПО, которое работает по принципу сложения хаотического сигнала источника и информационного сигнала, а вычислитель приемника предназначен для выделения каждого фрактала информационного сигнала.

Ниже на рис. 2 представлена блок-схема и принцип работы нашего авторского ПО.

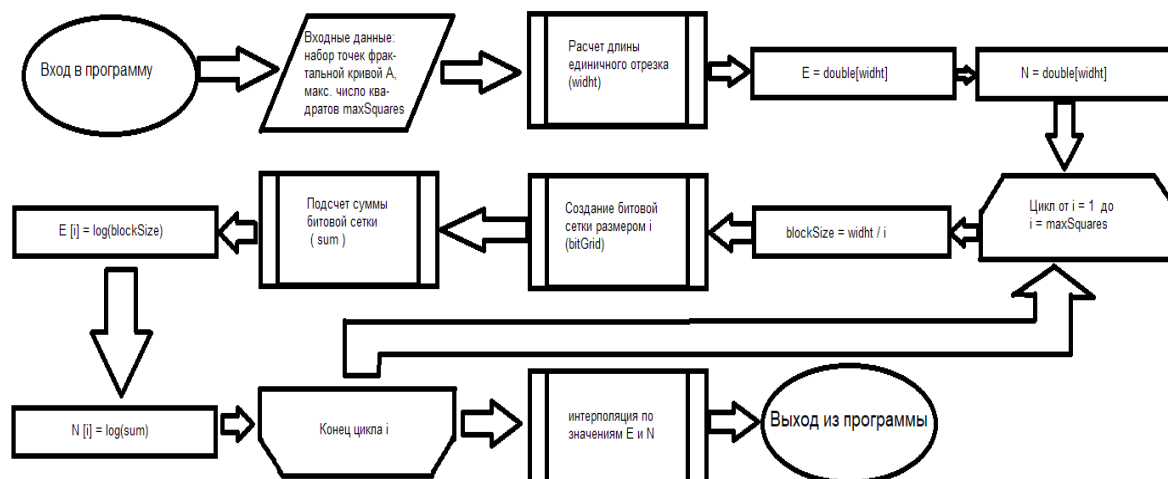


Рис. 2. Блок-схема работы фрактальной шифровки

Для реализации дешифровки сигнала из второго волокна [1] мы применим принцип нахождения краевой задачи из [2], что приводит к следующему виду нашу систему:

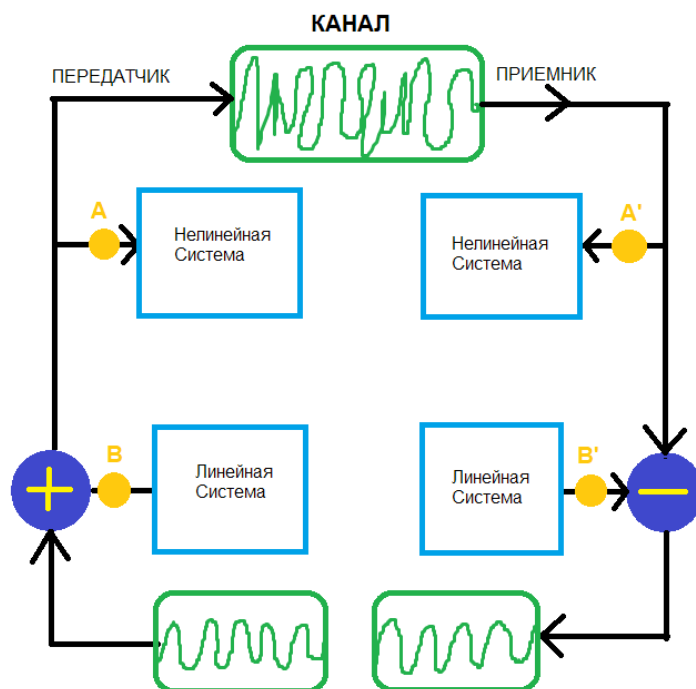


Рис.3. Принцип дешифровки фрактального сигнала.

Высокая эффективность спаривания в таком петлевом резонаторе достигается за счет адиабатически медленного изменения диаметра микроволокон в области связи. Были продемонстрированы петлевые резонаторы из микроволокна с добротностью 120 000 и 630 000 [1,2].

Создание такой системы стало возможным в связи с прогрессом в производстве микроволокон.

Этот метод позволяет при использовании одного SFP-модуля передавать по второму волокну - не подключенному к нему данные с минимальными потерями интенсивности.[3] Согласно модовой теории на указанном участке моды $|L\rangle$ и $|R\rangle$ представлены двумя комбинациями фундаментальных мод $|L\rangle$ и $|R\rangle$, распространяющихся, соответственно, по левому и правому волокну:

$$|\psi_1\rangle = (|L\rangle + |R\rangle)e^{i(\tilde{\beta} + \Delta\beta)z}, \quad (1)$$

$$|\psi_2\rangle = (|L\rangle - |R\rangle)e^{i(\tilde{\beta} - \Delta\beta)z}. \quad (2)$$

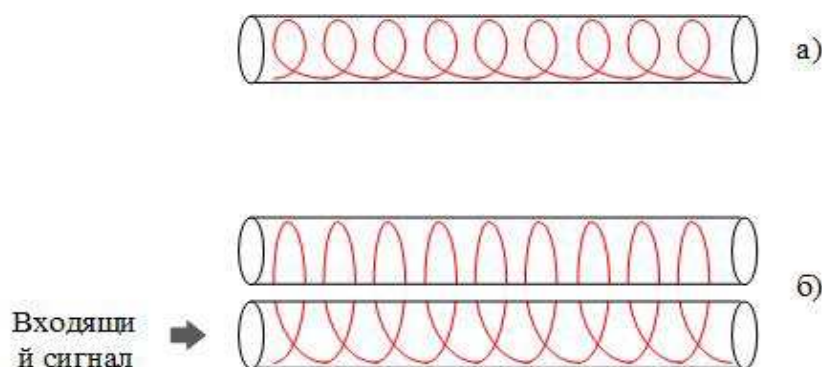


Рис.4. Туннелирование сигнала в двух волокнах.

Схематичное отображение разделения интенсивности волны, где, а) – это стандартный способ передачи лазерного сигнала, б) процесс фрактального туннелирования волны при совмещении нескольких (в данном случае – двух) оптоволоконных жил рядом друг с другом.

Для дополнительного шифрования данных и усиления безопасности сети, вихри внутри волокон закручиваются в оптические вихри по следующему принципу:

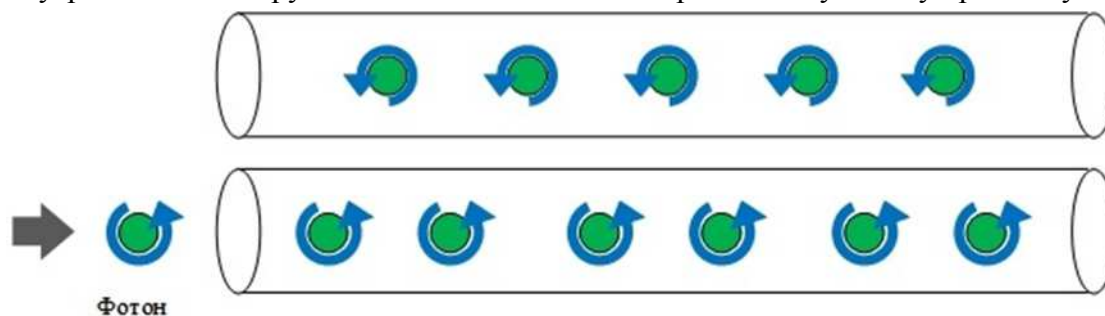


Рис. 5. Смена спин-орбитального момента оптического вихря.

Таким образом происходит шифрование на квантовом уровне, что делает внешнее проникновение в систему бесполезным. Но, в следствии чего встает следующий вопрос: сохранение интенсивности волн внутри резонатора.

Тогда применим теорию фракталов и динамического хаоса, мы внесем дополнительное переотражение волны внутри резонатора:

$$dbm = \frac{(10 \times \ln P)}{D} \quad (3)$$

где - P указывает оптическую мощность в mW, D – фрактальная размерность интерференции волн внутри волокна.

Решая данную систему как краевую задачу для дифракции оптического волокна [2], мы получаем следующее усредненное значение фрактальной размерности для оптического волокна, оно равно 1,8345.

Далее рассмотрим, реализацию на программном уровне эту дешифровку:


```

import { fractal, tmp } from '@fract/core'

const Timer = fractal(async function* () {
  let i = 0

  while (true) {
    yield tmp(i++)
    await new Promise((r) => setTimeout(r, 1000))
  }
})

const App = fractal(async function* () {
  while (true) {
    console.log(yield* Timer)
    yield
  }
})

live(App)

//> 0
//> 1
//> 2
//> ...
    
```

Рис. 6. Таймер жизни фрактального шифрования.

Рассматривая сам оптический вихрь и решая краевую задачу дифракции оптического волокна [2], получаем следующую экспериментальную установку, которая представлена на рис. 3.

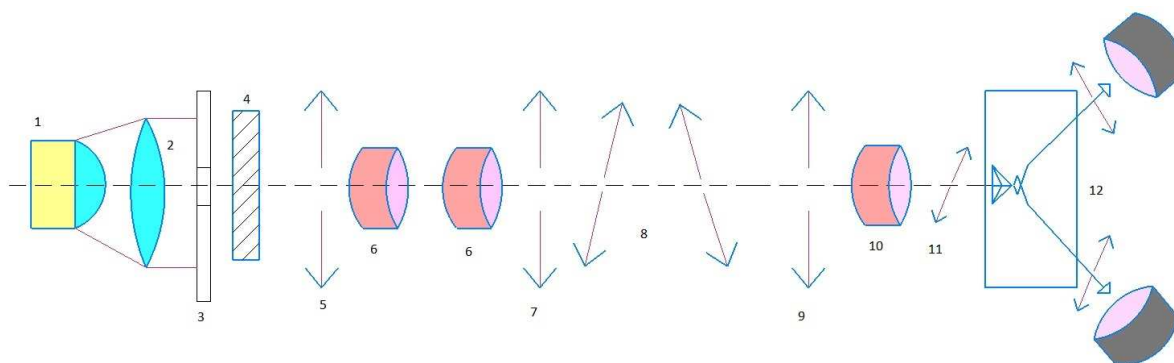


Рис. 5. Схема экспериментальной установки

Мы используем следующие элементы: 1 – лазер гелий-неоновый, 2- линзы, 3 – фрактальная дифракционная решетка, 3 – коллиматор, 4 – поляризатор $\frac{\lambda}{4}$, 6,10 – ячейка Покеля, 7, 8, 9 – оптическая система, 11– линза Френеля , 12 – оптоэлектронный умножитель сигнала.

При реализации такого типа шифрования у отправляющей и принимающей стороны сигнал дублируется и при попытке проникновения, сигнал на выходе будет приходить с помехами [3]. Что также покажет внешнее проникновение, а у нарушителя системы будут находиться только отдельные биты информации, которые будут нести в себе только ошибки. Дешифровка же данного сигнала без принимающей стороны невоз-

можно по причине уникальности для каждого конкретного абонента, его открытого ключа.

При учете фрактальной размерности показатели мощности, практически не проседают при передаче информации, что наглядно можно наблюдать на рис. 3 экспериментальных замерах интенсивности:

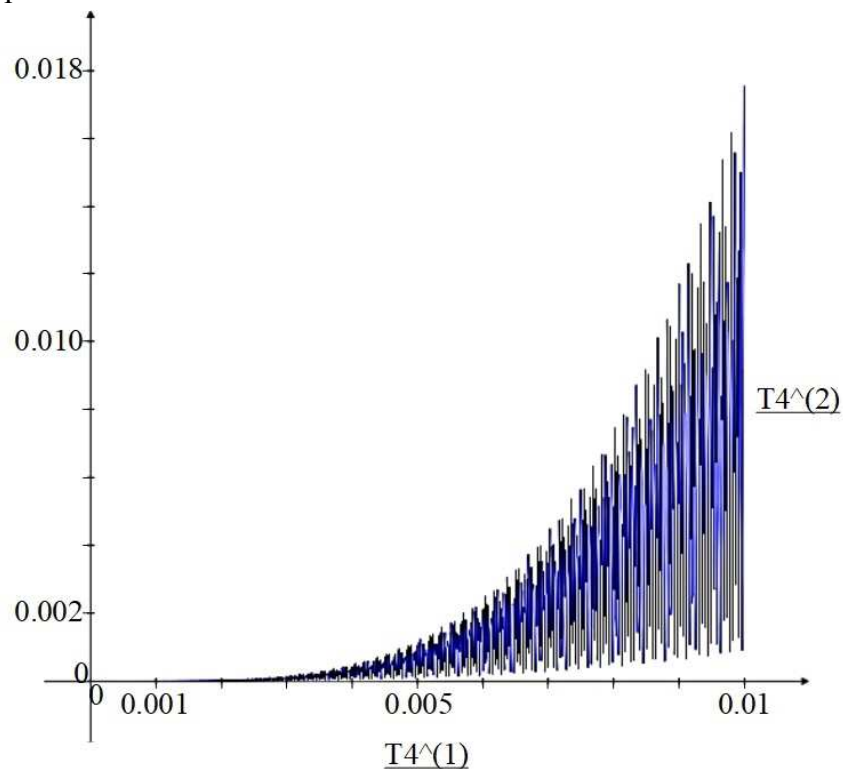


Рис.6. Зависимость коэффициента передачи мощности $|T_4|^2$ (в единицах мощности падающего пучка) оптических волокон $|-1,1\rangle$ от длины s_0 (в м) участка взаимодействия.

Передаваемый квант-информации, получаемый в принимающей стороне, будет иметь следующий вид:

```
// создаем фрактал с предопределенным режимом работы 'asString'
const AsString = fractal(async function* () {
  yield* MODE('asString')
  while (true) yield yield* App
})

// создаем фрактал с предопределенным режимом работы 'asData'
const AsData = fractal(async function* () {
  yield* MODE('asData')
  while (true) yield yield* App
})
```

Рис.6. Пример программного кода.

Вывод. Современные волоконно-оптические линии связи практически никак не защищены, перехватить данные посредством внешних проникновений не составит труда. В нашей работе представлен следующий шаг в шифровании данных, а также пример авторского программного обеспечения, который применяет теорию фракталов и хаоса, для шифровки и дешифровки данных.

Как видно из приведенных выше теоретических и экспериментальных данных интенсивность волны в так называемой «оптической змее» и коэффициент мощности не падают на больших длинах волокон.

Данная система найдет свое применение в проектировании новейших волоконных-линиях связи, а также при модернизации нынешних, что существенно увеличит экономию средств для предприятий и конечных абонентов.

Применение данной системы позволит избежать утечек секретных и частных данных в нежелательные места. Далее планируется разработать универсальный принцип квантовой криптографии.

Список использованных источников

1. Доненко, И.Л., Жидков, О.А. Фрактальное разделение интенсивности волны в современных GPON системах. XVIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 2021 г. С. 321-326
2. Доненко, А.В., Лукьяненко, В.А., Доненко, И.Л. Математическое моделирование для решения краевой задачи эволюции фрактальных отображений световых полей. Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн. 2018. С. 436-442.
3. Кулешов, С.В. Фрактальное шифрование. Труды СПИИРАН. 2004 г., С. 231-235

УДК 004.9

Середин К.А., Калистратов М.С., Дьяков М.Ю.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР МУФТ СОЕДИНЕНИЯ ВАЛА ПРИВОДА И ВАЛА МЕШАЛКИ ЕМКОСТНОГО АППАРАТА

Seredin K.A., Kalistratov M.S., Dyakov M.Yu

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

AUTOMATED SELECTION OF COUPLINGS FOR CONNECTING THE DRIVE SHAFT AND THE AGITATOR SHAFT OF THE CAPACITIVE APPARATUS

Аннотация: Представлены правила выбора типа муфты для соединения вала привода с валом мешалки емкостного аппарата. Правила предназначены для разработки модуля выбора муфты в автоматизированной системе проектирования химического оборудования.

Ключевые слова: муфты, емкостный аппарата, автоматизированное проектирование.

Abstract: The rules for choosing the type of coupling for connecting the drive shaft to the shaft of the agitator of the capacitive apparatus are presented. The rules are intended for the development of a coupling selection module in an automated chemical equipment design system.

Keywords: couplings, capacitive apparatus, computer-aided design.

Аппараты с перемешивающими устройства наиболее часто применяются в многоассортиментных химических производствах. Основными элементами этих аппаратов являются привод, корпус и мешалка. Привод включает в себя редуктор, выходной вал которого соединяется муфтой с валом мешалки.

На кафедре КИСМ ТГТУ разрабатывается система автоматизированного проектирования химического оборудования [1-5]. Одним из элементов этой системы является модуль автоматизированного выбора муфты. Этот выбор осуществляется на основе правил, которые представлены ниже.

Обозначим:

m_1 – тип муфты (возможные значения: 1, 2, 3, 4:

1 – муфта фланцевая, 2 – муфта продольно-разъёмная, 3 – муфта упругая со звёздочкой, 4 – муфта упругая втулочно-пальцевая);

m_2 – крутящий момент, (Н*м);

m_3 – диаметр вала, (мм);

m_4 – тип соединения (возможные значения: 1 – цилиндрическое, 2 – коническое, 3 – комбинированное).

Если:

$$m_2 > 2,5 \wedge m_2 < 6,3 \wedge m_3 > 6 \wedge m_3 < 9 \rightarrow m_1 = 3.$$

$$m_2 > 2,5 \wedge m_2 < 6,3 \wedge m_3 > 9 \wedge m_3 < 11 \rightarrow m_1 = 3.$$

$$m_2 > 2,5 \wedge m_2 < 6,3 \wedge m_3 > 11 \wedge m_3 < 25 \rightarrow m_1 = 3.$$

$$m_2 > 2,5 \wedge m_2 < 6,3 \wedge m_3 > 25 \wedge m_3 < 45 \rightarrow m_1 = 3.$$

$$m_2 > 6,3 \wedge m_2 < 16 \wedge m_3 > 6 \wedge m_3 < 9 \rightarrow m_1 = 3.$$

$$m_2 > 6,3 \wedge m_2 < 16 \wedge m_3 > 9 \wedge m_3 < 11 \rightarrow m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 6,3 \wedge m_2 < 16 \wedge m_3 > 11 \wedge m_3 < 25 \rightarrow m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 6,3 \wedge m_2 < 16 \wedge m_3 > 25 \wedge m_3 < 45 \rightarrow m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 6,3 \wedge m_2 < 16 \wedge m_3 > 45 \wedge m_3 < 125 \rightarrow m_1 = 4.$$

$$m_2 > 6,3 \wedge m_2 < 16 \wedge m_3 > 125 \wedge m_3 < 160 \rightarrow m_1 = 4.$$

$$m_2 > 16 \wedge m_2 < 125 \wedge m_3 > 6 \wedge m_3 < 9 \rightarrow m_1 = 3.$$

$$m_2 > 16 \wedge m_2 < 125 \wedge m_3 > 9 \wedge m_3 < 11 \rightarrow m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 16 \wedge m_2 < 125 \wedge m_3 > 11 \wedge m_3 < 25 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 16 \wedge m_2 < 125 \wedge m_3 > 25 \wedge m_3 < 45 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 16 \wedge m_2 < 125 \wedge m_3 > 45 \wedge m_3 < 125 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 16 \wedge m_2 < 125 \wedge m_3 > 125 \wedge m_3 < 160 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 16 \wedge m_2 < 125 \wedge m_3 > 160 \wedge m_3 < 250 \rightarrow m_1 = 1.$$

$$m_2 > 125 \wedge m_2 < 400 \wedge m_3 > 6 \wedge m_3 < 9 \rightarrow m_1 = 3.$$

$$m_2 > 125 \wedge m_2 < 400 \wedge m_3 > 9 \wedge m_3 < 11 \rightarrow m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 125 \wedge m_2 < 400 \wedge m_3 > 11 \wedge m_3 < 25 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 125 \wedge m_2 < 400 \wedge m_3 > 25 \wedge m_3 < 45 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 2 \vee m_1 = 3 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 125 \wedge m_2 < 400 \wedge m_3 > 45 \wedge m_3 < 125 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 2 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 125 \wedge m_2 < 400 \wedge m_3 > 125 \wedge m_3 < 160 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 125 \wedge m_2 < 400 \wedge m_3 > 120 \wedge m_3 < 250 \rightarrow m_1 = 1.$$

$$m_2 > 400 \wedge m_2 < 12'500 \wedge m_3 > 9 \wedge m_3 < 11 \rightarrow m_1 = 4.$$

$$m_2 > 400 \wedge m_2 < 12'500 \wedge m_3 > 11 \wedge m_3 < 25 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 400 \wedge m_2 < 12'500 \wedge m_3 > 25 \wedge m_3 < 125 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 2 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 400 \wedge m_2 < 12'500 \wedge m_3 > 125 \wedge m_3 < 160 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 400 \wedge m_2 < 12'500 \wedge m_3 > 160 \wedge m_3 < 250 \rightarrow m_1 = 1.$$

$$m_2 > 12'500 \wedge m_2 < 16'000 \wedge m_3 > 9 \wedge m_3 < 11 \rightarrow m_1 = 4.$$

$$m_2 > 12'500 \wedge m_2 < 16'000 \wedge m_3 > 11 \wedge m_3 < 160 \rightarrow m_1 = 1 \vee m_1 = 4.$$

$$m_2 > 12'500 \wedge m_2 < 16'000 \wedge m_3 > 160 \wedge m_3 < 250 \rightarrow m_1 = 1.$$

$$m_2 > 16'000 \wedge m_2 < 40'000 \wedge m_3 > 11 \wedge m_3 < 250 \rightarrow m_1 = 1.$$

Если $m_1 = 4 \vee m_1 = 1 \rightarrow 3П(m_4)$.

Примечание: 3П – Запрос у пользователя ($m_4 = 1$ – Цилиндрическое соединение, $m_4 = 2$ – Коническое соединение, $m_4 = 3$ – Комбинированное соединение).

Работа выполнена под руководством д.т.н., профессора Мокрозуба В.Г.

Список использованных источников

1. Мокрозуб, В.Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.В. Морозов, А.С. Коновалова А.С. // Радиотехника. 2010. – № 12. – С. 29-32.
2. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования / В.Г. Мокрозуб, В.Е. Красильников, М.П. Мариковская / Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4-2 (30). С. 264-267.
3. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете // САПР и графика. 2015. – № 1 (219). – С. 38-39.
4. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В.Г.Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34-40.
5. Mokrozub, V.G Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov, A.V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. – Т. 53. – № 5-6. – С. 326-331.

УДК 004.9

Жирякова И.Г., Вшивков Ф.И., Мокрозуб В.Г.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

МОДУЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВЫПУСКА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Zhiryakova I.G., Vshivkov F.I., Mokrozub V.G.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

MODULES OF THE AUTOMATED PLANNING SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF FINISHED PRODUCTS

Аннотация: Описаны основные модули автоматизированной системы планирования выпуска готовой продукции химических производств, учитывающей наличие сырья и загрузку оборудования.

Ключевые слова: химическое производство, выпуск готовой продукции, план.

Abstract: The main modules of the automated system for planning the release of finished products of chemical industries, taking into account the availability of raw materials and equipment loading, are described

Keywords: chemical production, production of finished products, plan.

Модули системы автоматизированного планирования выпуска готовой продукции представлены на рис. 1. Блоки непосредственно связаны с базами данных таблиц общего пользования, склада готовой продукции, склада сырья, плана продаж и выпуска готовой продукции, технологии изготовления, базой оборудования и нормативной калькуляции. Кроме того, для внесения ограничений, уточнений и изменений предусмотрены корректирующие обратные связи между блоками. Блок составления предварительного плана продаж позволяет сформировать предварительный план продаж готовой продукции на планируемый период, основываясь на информации о заключенных договорах и заявках на поставку продукции, информации о спросе потребителей на данную продукцию, требованиях руководства, статистических данных о выпуске продукции в прошлых периодах, ассортименте выпускаемой продукции и на информации, поступающей из таблиц общего пользования (потребители, менеджеры, продукты). Кроме того, в этом блоке происходит уточнение плана продаж на основе данных из блока формирования плана производства. Выходной информацией данного

блока является заявка в производство в виде наименования продукции, которую необходимо выпустить и объемов выпуска этой продукции.

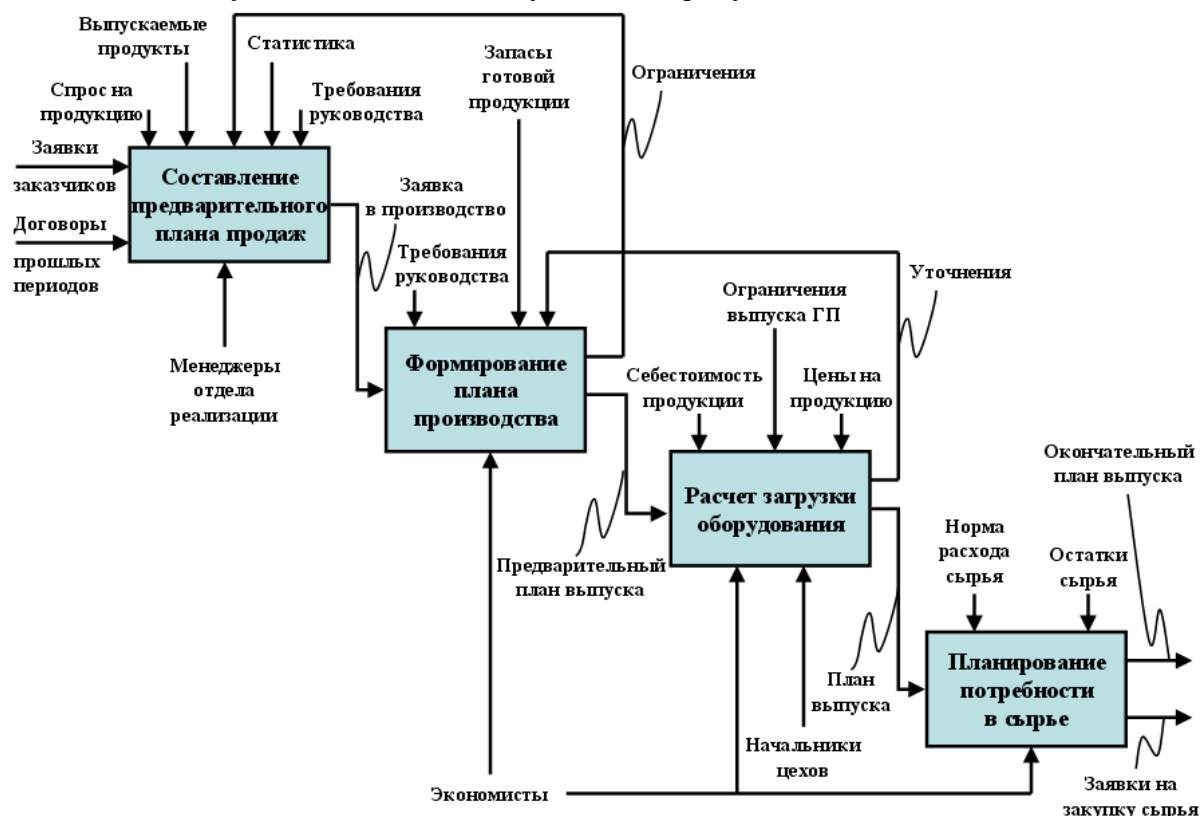


Рис.1

В блоке формирования плана производства происходит расчет ожидаемого остатка на начало планируемого месяца, а также составление и уточнение плана выпуска по каждой единице готовой продукции. Входными данными для этого блока служат: информация из блока составления предварительного плана продаж, блока расчета загрузки оборудования; информация из базы данных плана продаж и выпуска об ожидаемых продажах и ожидаемом выпуске, из таблиц общего пользования о запасах готовой продукции и нормативных остатках, о подразделениях предприятия (цеха, склады и т. д.). Выходная информация: что и в каких количествах необходимо выпускать в планируемом периоде.

Блок расчета загрузки оборудования включает в себя нахождение максимально возможного объема выпуска готовой продукции при выполнении ограничений, связанных с имеющимся фондом времени работы оборудования. После этого происходит расчет оптимального объема выпуска готовой продукции с учетом ограничений, полученных из блока формирования плана производства. Критерием оптимальности является предполагаемая валовая маржа от продаж продукции, которая должна достигать максимально возможного значения. В качестве входных данных выступает предварительный объем выпуска по каждому виду продукции, а в качестве выходных - план выпуска готовой продукции.

В блоке планирования потребности в сырье рассчитывается потребность предприятия в сырье в натуральном и стоимостном выражении. При этом используется план выпуска продукции, информация о нормах расхода сырья и об остатках сырья на складах. Выходная информация: заявки на закупку сырья и окончательный план выпуска продукции.

Необходимо отметить, что на предприятиях химического профиля выпуск большинства видов готовой продукции осуществляется партиями определенных размеров. Это условие необходимо учитывать при заключении договоров на объемы поставки готовой продукции клиентам. Кроме того, каждая единица оборудования может работать только определенное количество часов в месяц, поэтому возникает дополнительное ограничение на объемы выпуска готовой продукции, связанные с фондом времени работы оборудования.

Представленная диаграмма используется при разработке системы автоматизированного проектирования и управления химическим предприятием [1-5].

Список использованных источников

1. Мокрозуб, В.Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.В. Морозов, А.С. Коновалова А.С. // Радиотехника. 2010. – № 12. – С. 29-32.
2. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования / В.Г. Мокрозуб, В.Е. Красильников, М.П. Мариковская / Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4-2 (30). С. 264-267.
3. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете // САПР и графика. 2015. – № 1 (219). – С. 38-39.
4. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В.Г.Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34-40.
5. Mokrozub, V.G Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov, A.V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. – Т. 53. – № 5-6. – С. 326-331.

УДК 004.8

Салих Х.С.¹, Рублев А.А.², Горшенева Е.Б.², Егоров С.Я.²

¹ Департамент информационных технологий Министерства
высшего образования и научных исследований Ирака
e-mail: xaydersabah2@ gmail.com,

² Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов,
e-mail: egorovsy@ yandex.ru

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ОБСЛУЖИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Salih H. S.¹, Rublev A.A.², Gorsheneva E.B.², Egorov S.Ya.²

¹ Department of Information Technology, Ministry
of Higher Education and Scientific Research of
Iraq, e-mail: xaydersabah2@ gmail.com

² Tambov State Technical University, Tambov, Russia, e-mail: egorovsy@ yandex.ru

MONITORING SYSTEM OF TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES AND SERVICED OBJECTS

Аннотация: рассматриваются модули системы поддержки принятия решений по организации работы автотранспортного предприятия.

Ключевые слова: автотранспортное предприятие, система мониторинга.

Abstract: the modules of the decision support system for organizing the work of a motor transport enterprise are considered.

Keywords: trucking company, monitoring system.

Скоординированная работа всех модулей системы мониторинга транспортных средства (ТС) невозможна без наличия и поддержания информационной базы системы, которая постоянно обновляется в процессе мониторинга [1] деятельности предприятия за счет добавления новых данных о техническом состоянии ТС и данных о ходе выполнения работ на обслуживаемых объектах. Эти данные являются исходными для решения задач технической и производственной эксплуатации автотранспортного предприятия (АТП) (рис.1).

Данные мониторинга состояния ТС включают данные [45]: марка ТС, срок службы, пробег, дата и вид последнего технического обслуживания и ремонта, информация о незапланированных ремонтах, нормативы на ремонт, финансовые затраты и т.д.

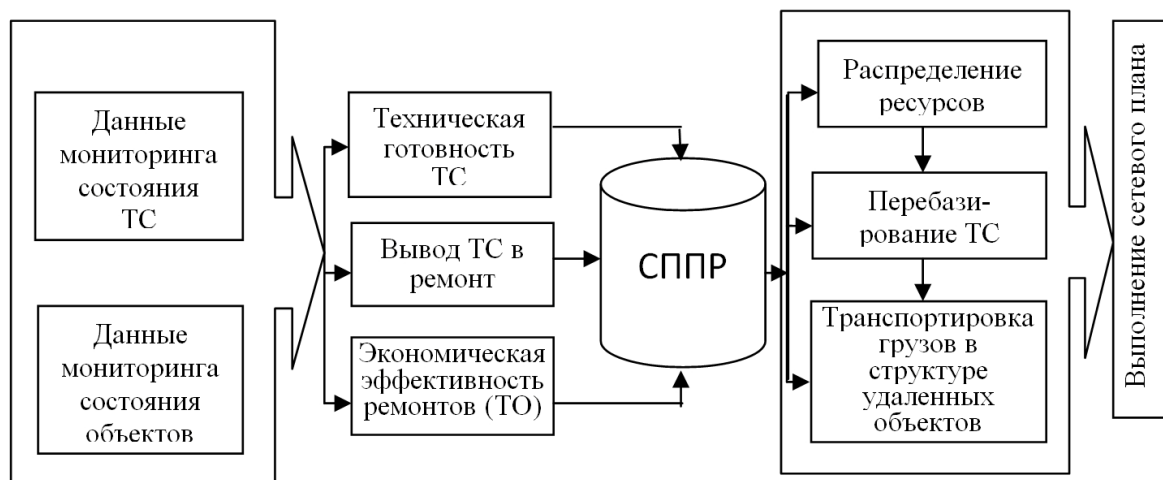


Рис. 1. Система мониторинга ТС

Данные мониторинга о состоянии объектов содержат стандартную информацию о состоянии работ на объектах принятую в системах управления проектами [2]. Основу информации составляет сетевой план работ объекта, составленный с учетом технического состояния автотранспорта. Данные с обслуживаемых объектов поступают как в хранилище данных для дальнейшего использования в системе мониторинга ТС, так и непосредственно в виде отчетов и презентаций руководителю организации.

В целом в системе выделены классы пользователей системы: администратор, аналитик, секретарь и руководитель (рис. 2). Все эти категории пользователей отличаются по их отношению к базе данных (БД) показателей, которые определяют совокупность неделимых единиц информации для поддержки принятия решений. На этапе подготовки аналитического отчета активными пользователями и компонентами системы является аналитик, на этапе устойчивой схемы принятия решений - руководитель и секретарь, в режиме оперативного анализа - руководитель, секретарь и аналитик.

Администратор (А) обеспечивает весь сервис и функционирование системы в целом, поддерживает работоспособность и выполняет синхронизацию всех баз данных. Аналитик (М) формирует базы данных результатов анализа. Секретарь обеспечивает коррекцию и ограничение информационных потоков руководителю. Руководитель проводит анализ представленных аналитических материалов для выработки управленческих решений.

Реализация моделей проводилась с использованием пакетов: MS Project - для решения задач сетевого планирования, пакета Statistica и Matlab - для обработки технико-экономических показателей транспортных предприятий на реальных статистических данных, VBA-программы MS Excel - для параметризации моделей технической готовности ТС [3], пакета GPSS - для моделирования перевозки грузов в замкнутой сети обслуживания.

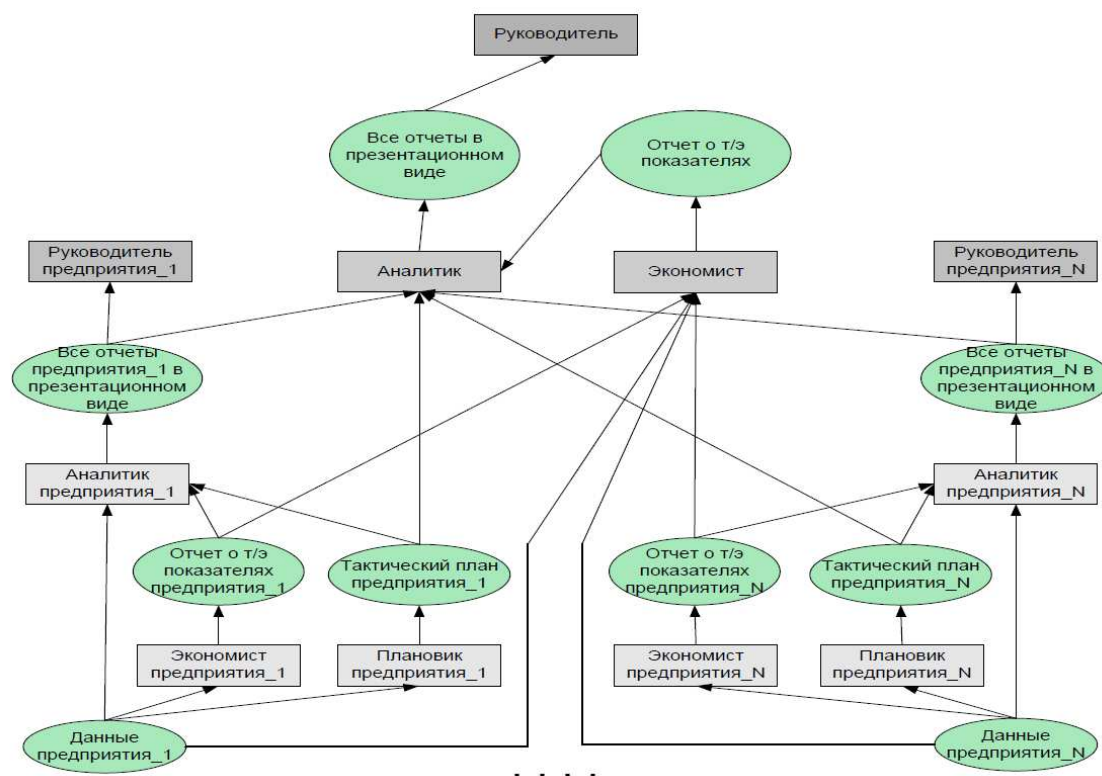


Рис. 2. Информационные потоки системы мониторинга

Программная реализация интерфейса пользователя основана на интеграции с пакетами Statistica и MatLab. Для реализации с пакетами Statistica и MatLab предлагается использовать Active-X компоненты, которые обеспечивают параметризацию запуска макросов, m-файлов и имитационных моделей и последующее внедрение OLE-объектов, сформированных в результате выполнения.

Список использованных источников

1. Salih, H.S. Development of a system to monitor scheduled works at distributed facilities / H.S. Salih, S.Ya. Egorov // Vestnik TGTU. – 2020. – № 1(V26). – P. 56-63.DOI: 10.17277/vestnik.2020.01.pp.056-063.
2. Сухачев, К.А. Модели и методы управления проектами в сетевых организациях [Текст] : автореф. канд. техн. наук: 05.13.10 / Сухачев Кирилл Андреевич. – Воронеж, 2005. – 21 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613023 от 06 марта 2020 г. "Расчет оптимального распределения ресурсов предприятия" / Х.С. Салих, С.Я. Егоров, В.А. Немтинов.

УДК 621.396.43

Каштанов В.В., Косогор Я.И., Немтинов В.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: slava.kashtanov.2018@mail.ru

**КОНЦЕПЦИЯ МАСШТАБИРУЕМОЙ ТРАНКОВОЙ СЕТИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА И ТЕХНОЛОГИИ РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Kashtanov V.V., Kosogor Y.I., Nemtinov V.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: slava.kashtanov.2018@mail.ru

**THE CONCEPT OF SCALABLE TRUNKING NETWORK BASED ON UAVS
WITH SWARM INTELLIGENCE TECHNOLOGY**

Анотация: В статье рассматривается концепция транковой сети на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также преимущества использования данной системы в удаленных регионах гражданскими и государственными потребителями.

Ключевые слова: БПЛА, транковая сеть, роевой интеллект, спутниковая связь.

Abstract. The article discusses the concept of scalable trunking network based on UAVs with swarm Intelligence technology and systems advantages in remote regions by civil and government consumers.

Keywords: UAV, trunk network, swarm intelligence, satellite communications.

Качественная и устойчивая связь является неотъемлемой частью жизни современного общества и необходима для полноценного функционирования коммерческих предприятий, государственных структур и аварийных служб, но при этом для развертывания наземных базовых станций необходимо выполнить определенные условия, которые в некоторых случаях создают непреодолимые трудности в их установке и эксплуатации.

Использование БПЛА в качестве ретранслятора имеет ряд преимуществ, таких как высота подъема антенны, возможность следования за пользователем, возможность создания мобильной, масштабируемой, адаптируемой и самоорганизующейся сети при помощи БПЛА с роевым интеллектом, использование в труднодоступных регионах вне зоны действия наземных телекоммуникационных сетей (рис. 1). Рассмотрим их более детально:



Рис. 1. Преимущества использования БПЛА

Согласно формуле Введенского [2]:

$$E_{np} = \frac{4\pi\sqrt{60P_{изл}G}}{\lambda r^2} h_1 h_2$$

где E_{np} – амплитуда напряженности поля в точке приема; $P_{изл}$ – мощность излучения радиопередающего устройства; G – коэффициент усиления передающей антенны;

λ – длина волны; r – протяженность линии радиосвязи – дальность радиосвязи; $h_1 h_2$ – высота подъема антенны передающей, приемной радиостанции соответственно.

Следовательно, чем выше поднимается антенна, тем больше амплитуда напряженности поля в точке приема, а значит лучше принимаемый сигнал. Данное утверждение подтверждается расчетами Пескова С.Н. [1], результаты которых можно наблюдать на рис. 2.

Возможность следовать за пользователем

Для обеспечения устойчивой и качественной связи во время движения (рис.3) (например, в транспортном средстве), дрон может лететь за пользователем с сохранением дистанции. Технология отслеживания является полезным инструментом при использовании БПЛА в качестве ретранслятора. Данная технология развита в дронах различных

фирм и работает с GPS, беспроводной сетью между ПУ и БПЛА или при помощи специальных датчиков.

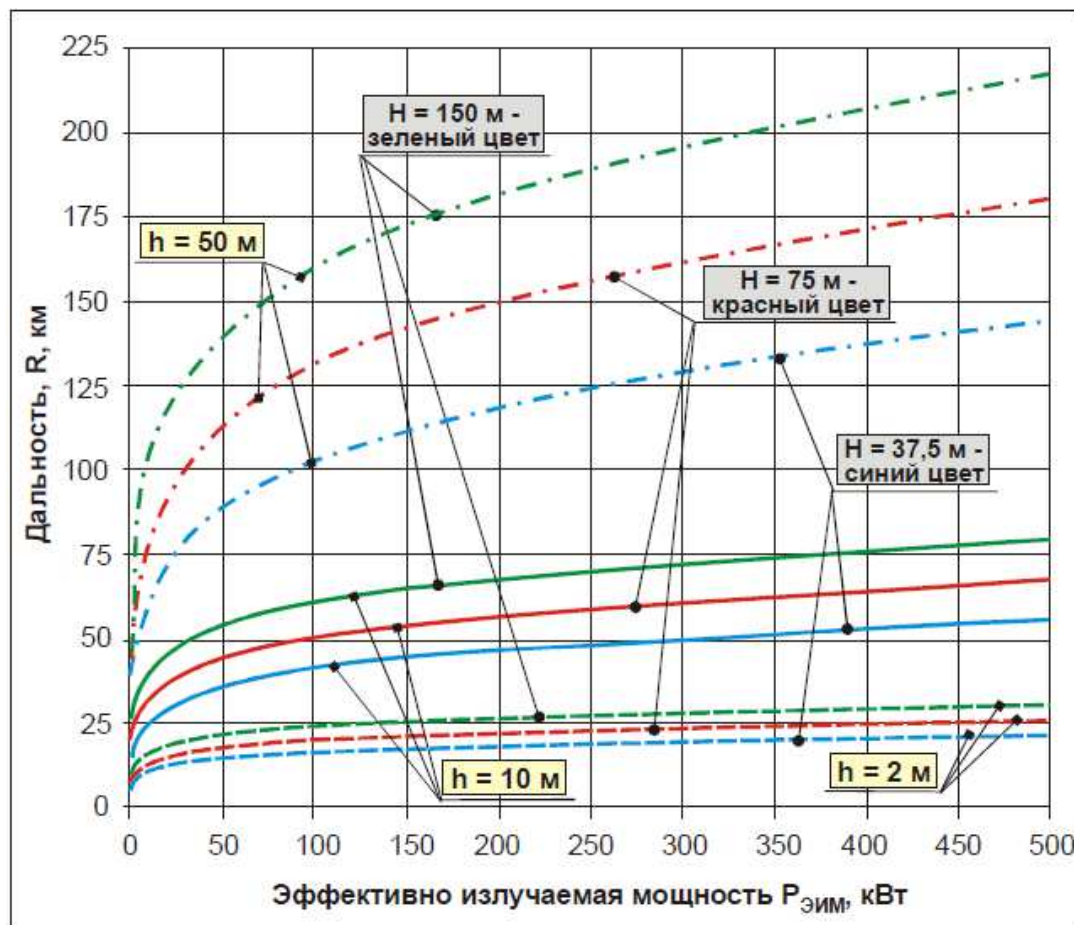


Рис. 2. График зависимости дальности связи от высоты поднятия антенны



Рис. 3. Следование дрона за пользователем

В данном варианте применения хорошее качество связи может достигаться высотой поднятия приемопередающей антенны размещенной на дроне. Таким образом, пользователь получает очень высокую «мачту», которая может быстро развертываться и не привязывает пользователя к конкретной точке развертывания.

Возможность создания транковой сети при помощи БПЛА с роевым интеллектом

Для создания масштабируемой быстроразвертываемой транковой сети может служить рой дронов ввиду простоты управления, точности занимаемой позиции летающими ретрансляторами и возможности ее быстрой передислокации при перемещении потребителей. Для обеспечения качественного покрытия необходимы: возможность лететь на постоянном расстоянии, автоматически создавая беспроводные соединения между узлами в воздухе и потребителями на земле, и/или обладать возможностью изменения топологии сети, иными словами иметь мобильность для оперативного изменения масштаба покрытия. Подобными особенностями обладают беспроводные самоорганизующиеся сети, которые применяются в рое дронов [3]. Эта сеть будет отлично подходить для аварийных служб в удаленных регионах страны, а так же рыбаков, охотников и туристов.

Использование в труднодоступных регионах вне зоны действия наземных телекоммуникационных сетей

Особенность обеспечения связью удаленных регионов заключается в сложной логистике при постройке сетевой инфраструктуры, а также экономическая нецелесообразность ее создания ввиду малой плотности населения. Для выполнения этой задачи может подойти мобильная быстро развертываемая масштабируемая транковая сеть, состоящая из БПЛА. Где «главный» дрон будет ретранслировать сигнал со спутника потребителям на земле. Этот способ позволит избежать необходимости закупать большое количество дорогостоящих спутниковых терминалов, для каждого пользователя, а так же обеспечит устойчивую связь с геостационарным спутником связи через дрон – ретранслятор.

Список использованных источников

1. Песков, С.Н. Аналитические методы расчета напряженности поля, создаваемой передатчиком / С.Н. Песков / Теле-Спутник - Октябрь 2008 г.
2. Введенский, Б.А. Вопросы распространения ультракоротких волн / Б.А. Введенский, А.Г. Аренберг. М.: Сов. Радио, 1948. 167 с.
3. Bouachir, O. A mobility model for UAV ad hoc network / O. Bouachir, A. Abrassart, F. Garcia and N. Larrieu // 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Orlando, FL, USA, 2014, pp. 383-388, doi: 10.1109/ICUAS.2014.6842277.

УДК 004.89

Обухов А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: obuhov.art@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СИНТЕЗЕ АДАПТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Obukhov A.D.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: obuhov.art@gmail.com

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES IN THE SYNTHESIS OF ADAPTIVE INFORMATION SYSTEMS

Аннотация: Реализация адаптивных информационных систем (АИС) является дорогостоящим процессом, поэтому в рамках работы рассматривается применением нейросетевых технологий, направленных на автоматизацию процессов анализа, обработки информации и управления в данной предметной области, что позволит повысить эффективность синтеза АИС. Рассматривается методология синтеза АИС, основанная на новых методах управления, анализа, обработки, генерации, передачи, распределения информации, реализованных при применении технологий машинного обучения. Методология основана на концепции быстрой разработки приложений, однако использование нейросетевых технологий в рамках дополнительного этапа реализации АИС позволило значительно снизить стоимость и сложность разработки программных модулей.

Ключевые слова: адаптивные информационные системы, структурно-параметрический синтез, нейросетевые технологии, машинное обучение.

Abstract. The implementation of adaptive information systems (AIS) is an expensive process, therefore, the work considers the use of neural network technologies aimed at automating the processes of analysis, information processing and control in this subject area, which will increase the efficiency of AIS synthesis. The methodology of AIS synthesis is considered, based on new methods of control, analysis, processing, generation, transmission, distribution of information, implemented using machine learning technologies. The methodology is based on the concept of rapid application development, however, the use of neural network technologies as part of an additional stage of AIS implementation has significantly reduced the cost and complexity of software modules development.

Keywords: adaptive information systems, structural-parametric synthesis, neural network technologies, machine learning.

Вопрос повышения эффективности синтеза адаптивных информационных систем (АИС) является научной проблемой, имеющей важное хозяйственное значение, так как во многих предметных областях и сферах деятельности имеется потребность в системах, сохраняющих оптимальные параметры и алгоритмы своего функционирования при различных внешних воздействиях.

Существующие методологии синтеза («водопадная», гибкие методологии, быстрая разработка приложения, архитектурные шаблоны проектирования и так далее [1, 3, 5]) направлены на реализацию систем различной сложности и структуры, но не акцентируют внимание на процессах автоматизации процессов анализа, обработки информации, управления и принятия решения, что позволило бы значительно снизить как стоимость, так и сложность реализации подобных систем.

Для решения рассматриваемой научной проблемы предлагается разработка теоретических основ и инструментальных программных средств на основе технологий машинного обучения и нейронных сетей [4], что позволит сократить экономические затраты, снизить сложность программной реализации, повысить адаптивность, качество и производительность работы АИС. В основе предлагаемой методологии – набор разработанных методов, реализованных с использованием современных нейросетевых технологий.

Разрабатываемая методология синтеза АИС основана на следующих принципах: возможность использования нейросетевых технологий (достаточность данных и их корректность), декомпозиция архитектур АИС на независимые модули, необходимость реализации функций адаптивности. Методология основана на концепции быстрой разработки приложений и включает 7 основных этапов, представленных на рисунке 1.

Новизна методологии заключается в добавлении этапа 4, который основан на реализации набора нейросетевых компонентов, используемых для автоматизации процессов анализа, обработки и передачи информации, управления и принятия решения в АИС [2].

Данный этап реализуется путем применения ряда разработанных методов, основанных на применении нейросетевых технологий:

- нейросетевой метод обработки и передачи информации для автоматизированной организации связи между компонентами АИС на основе реализации нейросетевых каналов данных, осуществляющих анализ, обработку и передачу данных с применением методов искусственного интеллекта;

- нейросетевой метод автоматической генерации данных на основе применения нейронных сетей для формирования информационных объектов с заданной структурой и свойствами с автоматическим поиском оптимальных параметров нейронных сетей, используемый для получения сжатого состояния объекта, восстановления потерянных данных, прогнозирования;

- нейросетевой метод автоматической переадресации информации между пользователями АИС, отличающийся применением нейронных сетей для определения опти-

мального исполнителя операции на основе прогноза времени и вероятности ее успешного выполнения, позволяющий осуществить маршрутизацию информации;

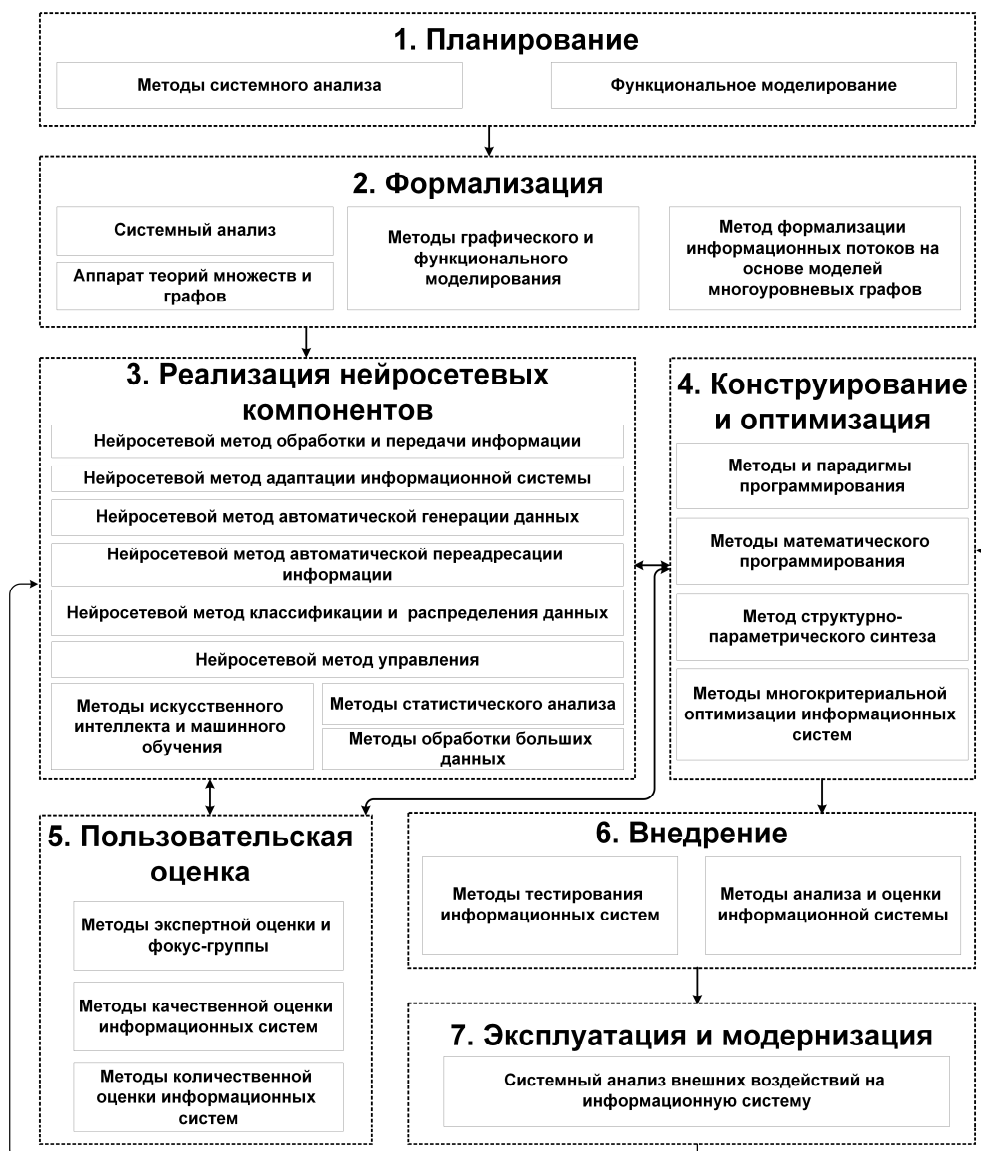


Рис. 1. Структура методологии синтеза АИС

- нейросетевой метод классификации и распределения данных для организации их автоматизированного хранения, поиска, проверки и сравнения;
- нейросетевой метод адаптации информационной системы под особенности пользователя, основанные на технологиях искусственного интеллекта, анализа больших данных и машинного обучения;
- нейросетевой метод управления на основе применения нейронных сетей для автоматизации процессов поддержки принятия решений и управления в АИС.

В соответствии с предложенной методологией синтеза осуществляется выполнение следующих этапов, см. таблицу 1.

Данные этапы соответствуют методологии быстрой разработки приложений, однако расширяют ее за счет большей детализации и отделения этапа реализации нейросетевых компонентов от общего процесса разработки. Таким образом, процесс программной реализации АИС заключается в многократном повторении этапов 3-5 до тех пор, пока полученный прототип АИС не будет соответствовать требованиям технического задания, удовлетворять критериям пользовательской оценки и заданным ограничениям (например, на производительность, адаптивность или стоимость разработки).

Таблица 1. Описание этапов методологии

Название этапа	Выполняемые действия
Планирование	анализ предметной области, оценка требований, формирование технического задания
Формализация	разработка теоретико-графовой структуры АИС, постановка задачи синтеза
Реализация нейросетевых компонентов	анализ и обработка данных предметной области, формирование структуры и обучение нейронных сетей для решения задач анализа, обработки, передачи, генерации информации или управления
Конструирование и оптимизация	решение задачи синтеза и оптимизации, программная реализация модулей, интеграция разработанных нейросетевых компонентов, доработка прототипа АИС
Пользовательская оценка	оценка прототипа АИС по количественным и качественным метрикам
Внедрение	финальное тестирование, внедрение АИС и обучение пользователей работе с ней
Эксплуатация и модернизация	функционирование АИС в штатном режиме, доработка системы в соответствии с внешними воздействиями и изменениями в структуре предметной области

Далее рассмотрим апробацию разработанной методологии и методов в конкретных предметных областях.

Применение нейросетевых технологий для повышения эффективности синтеза АИС рассматривалось в двух предметных областях: системах электронного документооборота (СЭД) и адаптивных тренажерных комплексах (АТК).

В первой предметной области методология и методы, основанные на нейронных сетях, использовались в адаптивной СЭД конструкторской документации для решения следующих задач:

- классификация и маршрутизация документов;
- поиск дубликатов чертежей в базе конструкторской документации;

- автоматическая навигация пользователя по модулям системы;
- персонализация интерфейса в зависимости от характеристик программного и аппаратного обеспечения, роли пользователя.

Использование нейросетевых методов и реализация адаптивной СЭД в соответствии с методологией позволили реализовать необходимые функции адаптивности системы (персонализация интерфейса и реализация автоматической навигации для каждого пользователя), автоматизировать процессы обработки информации, снизить сложность программных модулей и общие экономические затраты на реализацию адаптивной СЭД.

В АТК нейросетевые технологии успешно применены при решении следующих задач:

- обработка данных в системе имитации дыхательных аппаратов при замене отдельных компонентов (датчиков), что требует адаптации системы к изменению их характеристик;
 - восстановление показаний датчиков в случае потери сигнала;
 - реализация адаптивной системы управления беговой дорожкой для перемещения человека в виртуальной реальности на основе нейросетевого управления, что позволило снизить колебания и повысить комфорт перемещения пользователя;
- обработка данных для моделирования физических и химических процессов в виртуальной реальности.

Применение методологии и нейросетевых методов в АТК позволило реализовать необходимые функции адаптивности: адаптацию компонентов тренажера при их замене и определение скорости беговой платформы в зависимости от действий конкретного пользователя, а также снизить программную сложность модулей АТК и общие экономические затраты.

В итоге применение нейросетевых технологий при реализации адаптивной СЭД конструкторской документации позволило снизить экономические затраты на реализацию системы на 24.7 % и сложность программного обеспечения на 32.5 %. При разработке АТК для подготовки персонала горнодобывающей промышленности получены следующие результаты: снижение экономических затрат на 18.9 % и сложности программного обеспечения на 19.6 %. Для указанных систем также улучшены показатели по качеству (до 12%) и адаптивности (до 20%).

Таким образом, методология и разработанные в ее рамках нейросетевые методы показали достаточный положительный эффект, что подтверждает применимость предлагаемых подходов для решения поставленной научной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Ларина, И.Б., Курапина, Н.А., Хачатурянц, Г.В. Методология RAD-разработки информационных систем // Научные исследования: теория, методика и практика. – 2018. – С. 231-232.
2. Обухов, А.Д. Методология структурно-параметрического синтеза адаптивных информационных систем на основе нейросетевых технологий // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2021. – №. 6. – С. 58 – 68.
3. Федорова, О. В., Мамаева, А. А., Якунина, Е. А. Применение методологий SADT и ARIS для моделирования и управления бизнес-процессами информационных систем // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, №. 1 (75). – С. 105-109
4. Dimiduk, D.M., Holm, E.A., Niezgod, S.R. Perspectives on the impact of machine learning, deep learning, and artificial intelligence on materials, processes, and structures engineering // Integrating materials and manufacturing innovation. – 2018. – Vol. 7, No. 3. – P. 157-172.
5. Qureshi, M. R. J. Agile software development methodology for medium and large projects // IET software. – 2012. – Vol. 6, No. 4. – P. 358-363.

УДК 004.021

Немтинов В.А., Мамедова И.А., Мамедов Р.И.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: mamedovainna071@gmail.com

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Nemtinov V. A., Mamedova I.A., Mamedov P.I.

Tambov state technical university, Tambov, Russia

e-mail: mamedovainna071@gmail.com

INFORMATION MODEL OF DECISION SUPPORT IN THE OPERATION OF HEATING NETWORKS

Аннотация: В работе рассмотрены вопросы разработки информационной модели поддержки принятия решений при технической эксплуатации объектов тепловых сетей, отображающей информацию предметной области в виде совокупностей данных и связей между ними, основанных на использовании производственных правил и реализация, которой в автоматизированной системе позволит повысить качество анализа и обработки разнородных данных о пространственно-распределенных объектах и обеспечить безаварийное функционирование систем.

Ключевые слова: тепловые сети, информационная поддержка принятия решений.

Abstract. The paper considers the issues of developing an information model for decision-making support during the technical operation of thermal network facilities, displaying information of the subject area in the form of data sets and connections between them, based on the use of production rules and implementation, which in an automated system will improve the quality of analysis and processing of heterogeneous data on spatially distributed objects and ensure trouble-free operation of systems.

Keywords: heating networks, information support for decision-making.

Целью данной работы является разработка информационной модели поддержки принятия решений при технической эксплуатации объектов тепловых сетей, отображающей информацию предметной области в виде совокупностей данных и связей между ними, основанных на использовании производственных правил и реализация, которой в автоматизированной системе позволит повысить качество анализа и обработки разнородных данных о пространственно-распределенных объектах и обеспечить безаварийное функционирование систем [1 -5].

Рассмотрим построение информационной модели на примере одного из основных элементов тепловых сетей – насосного агрегата. Правила, на основе которых должны

приниматься решения по устранению неполадок в работе насосных агрегатов собраны специалистами по прикладным знаниям (экспертами) и нами в процессе контактов со специалистами по обслуживанию оборудования. Для этого будем использовать множества данных о состоянии насосов $S_{насоса}$, возможных причинах неисправностей $Pr_{насоса}$, способах их устранения $D_{насоса}$ и соответствующей стоимости работ $St_{насоса}$:

$$S_{насоса} = \{ s_{насоса,1}, \dots, s_{насоса,i}, \dots, s_{насоса,I_n} \}, \quad ; \quad i=1, 2, \dots, I_n; \quad (1)$$

$$PR_{насоса} = \{ pr_{насоса,1}, \dots, pr_{насоса,j}, \dots, pr_{насоса,J_n} \}, \quad ; \quad j=1, J_n; \quad (2)$$

$$D_{насоса} = \{ d_{насоса,1}, \dots, d_{насоса,k}, \dots, d_{насоса,K_n} \}, \quad ; \quad i=1, K_n; \quad (3)$$

$$ST_{насоса} = \{ st_{насоса,1}, \dots, st_{насоса,k}, \dots, st_{насоса,K_n} \}, \quad ; \quad i=1, K_n; \quad (4)$$

Примеры этих данных приведены в табл. 1 – табл. 3, а примеры правил определения значений свойств «диагноз текущего состояния» и «рецепт устранения неисправности» для элемента «насосный агрегат» – в табл. 4- табл. 5. В настоящее время база включает более 50 правил, с помощью которых принимаются решения по устранению неполадок в работе насосных агрегатов [5 - 8].

Таблица 1 Возможные состояния насосного агрегата

№	Наименование
1	$s_{насоса,1}$ = «насос не работает»
2	$s_{насоса,2}$ = «насос не всасывает»
3	$s_{насоса,3}$ = «недостаточное нагнетание»
4	$s_{насоса,4}$ = «неравномерная подача»
5	$s_{насоса,5}$ = «шум при работе насоса»
6	$s_{насоса,6}$ = «насос останавливается»
7	$s_{насоса,7}$ = «поврежден статор»
8	$s_{насоса,8}$ = «поврежден ротор»
9	$s_{насоса,9}$ = «протекают уплотнения»
10	$s_{насоса,10}$ = «низкое давление нагнетания»
...	...

Для реализации выше приведенной ИЛМ нами использована программная среда экспертной системы CLIPS. CLIPS включает полноценный объектно-ориентированный язык COOL для написания экспертных систем. Апробация ИМЛ, реализованной в автоматизированной системе поддержки принятия решений, осуществлена на примере задачи оперативного реагирования на аварийные ситуации, возникающие на отдельных участках тепловых сетей г. Тамбова.

Таблица 2. Возможные причины неисправностей насосного агрегата

№	Наименование
1	$pr_{насоса,1}$ = «новые статор и ротор слипаются»
2	$pr_{насоса,2}$ = «поврежден электрический контакт»
3	$pr_{насоса,3}$ = «чрезмерное давление нагнетания»
4	$pr_{насоса,4}$ = «неизвестное вещество в насосе»
5	$pr_{насоса,5}$ = «высокая температура, деформация статора»
6	$pr_{насоса,6}$ = «статор из неподходящего материала»
7	$pr_{насоса,7}$ = «слишком большая грануляция продукта»
8	$pr_{насоса,8}$ = «отложение продукта при остановке насоса»
9	$pr_{насоса,9}$ = «просачивание воздуха на подаче»
10	$pr_{насоса,10}$ = «затрудненное всасывание»
11	$pr_{насоса,11}$ = «всасывание воздуха через уплотнение или сальник»
12	$pr_{насоса,12}$ = «слишком низкая скорость»
13	$pr_{насоса,13}$ = «неправильное направление вращения»
14	$pr_{насоса,14}$ = «высота столба жидкости над всасывающим патрубком ниже требуемого»
15	$pr_{насоса,15}$ = «насос работает в сухом режиме»
16	$pr_{насоса,16}$ = «статор неисправен – произошло его обгорание»
17	$pr_{насоса,17}$ = «поврежден статор, проверить резиновое покрытие»
18	$pr_{насоса,18}$ = «поврежден ротор»
19	$pr_{насоса,19}$ = «дефективный соединительный вал»
20	$pr_{насоса,20}$ = «насос несоосный с упругим сочленением»
...	...

Таблица 3. Возможные действия по устранению неисправностей насосного агрегата.

№	Наименование
1	$d_{насоса,1}$ = «заполнить насос подходящим продуктом, глицерином»
2	$d_{насоса,2}$ = «проверить электрическое подключение согласно нормативам»
3	$d_{насоса,3}$ = «измерить давление манометром и сравнить с паспортными данными»
4	$d_{насоса,4}$ = «удалить неизвестное вещество и заменить поврежденные детали»
5	$d_{насоса,5}$ = «установить ротор меньшего размера»
6	$d_{насоса,6}$ = «заменить резиновую выстилку статора»
7	$d_{насоса,7}$ = «установить решетку на подаче»
8	$d_{насоса,8}$ = «очистить насос»
9	$d_{насоса,9}$ = «повысить уровень жидкости на подаче, чтобы предотвратить всасывание воздуха»
10	$d_{насоса,10}$ = «проверить уплотнения и тщательно затянуть стыки трубопроводов»

№	Наименование
11	$d_{насоса,11}$ = «затянуть или заменить сальник; если используется механическое уплотнение, тщательно очистить его или заменить при необходимости»
12	$d_{насоса,12}$ = «увеличить обороты»
13	$d_{насоса,13}$ = «передумать электрические подключения»
14	$d_{насоса,14}$ = «увеличить давление на входе за счет опускания насоса и снизить температуру жидкости на входе»
15	$d_{насоса,15}$ = «заполнить насос, смонтировать устройства, предотвращающие работу в сухом режиме»
16	$d_{насоса,16}$ = «заменить статор»
17	$d_{насоса,17}$ = «заменить статор или при необходимости заменить резиновую выстилку статора»
18	$d_{насоса,18}$ = «заменить ротор и установить причину, которая может быть заключаться в абразивности, коррозии или кавитации»
19	$d_{насоса,19}$ = «заменить изношенные детали»
20	$d_{насоса,20}$ = «выставить насос и упругое сочленение соосно»
...	...

Таблица 4. Примеры правил по определению значения свойства «диагноз текущего состояния»

№	Условие	Следствие
1	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,7}$	$pr_{насоса,1}$
2	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,7}$	$pr_{насоса,2}$
3	$s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,8} \& s_{насоса,9}$	$pr_{насоса,3}$
4	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,6} \& s_{насоса,7}$	$pr_{насоса,4}$
5	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,2} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,8} \& s_{насоса,9}$	$pr_{насоса,5}$
6	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,2} \& s_{насоса,7}$	$pr_{насоса,6}$
7	$s_{насоса,7} \& s_{насоса,5} \& s_{насоса,6} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,8}$	$pr_{насоса,7}$
8	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,2} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,6} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,8} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,8}$
9	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,5}$	$pr_{насоса,9}$
10	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,5}$	$pr_{насоса,10}$
11	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,5}$	$pr_{насоса,11}$
12	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,12}$
13	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,9}$	$pr_{насоса,13}$
14	$s_{насоса,3} \& s_{насоса,5} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,14}$
15	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,6} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,15}$
16	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,16}$
...

Таблица 5 Примеры правил по определению значения свойства «рецепт устранения неисправности»

№	Условие	Следствие	Стоимость работ
1	$pr_{насоса,1}$	$d_{насоса,1}$	$st_{насоса,1}$
2	$pr_{насоса,2}$	$d_{насоса,2}$	$st_{насоса,2}$
3	$pr_{насоса,3}$	$d_{насоса,3}$	$st_{насоса,3}$
4	$pr_{насоса,4}$	$d_{насоса,4}$	$st_{насоса,4}$
5	$pr_{насоса,5}$	$d_{насоса,5}$	$st_{насоса,5}$
6	$pr_{насоса,6}$	$d_{насоса,6}$	$st_{насоса,6}$
7	$pr_{насоса,7}$	$d_{насоса,7}$	$st_{насоса,7}$
8	$pr_{насоса,8}$	$d_{насоса,8}$	$st_{насоса,8}$
9	$pr_{насоса,9}$	$d_{насоса,9}$	$st_{насоса,9}$
10	$pr_{насоса,10}$	$d_{насоса,10}$	$st_{насоса,10}$
11	$pr_{насоса,11}$	$d_{насоса,11}$	$st_{насоса,11}$
12	$pr_{насоса,12}$	$d_{насоса,12}$	$st_{насоса,12}$
13	$pr_{насоса,13}$	$d_{насоса,13}$	$st_{насоса,13}$
14	$pr_{насоса,14}$	$d_{насоса,14}$	$st_{насоса,14}$
15	$pr_{насоса,15}$	$d_{насоса,15}$	$st_{насоса,15}$
16	$pr_{насоса,16}$	$d_{насоса,16}$	$st_{насоса,16}$
17	$pr_{насоса,17}$	$d_{насоса,17}$	$st_{насоса,17}$
18	$pr_{насоса,18}$	$d_{насоса,18}$	$st_{насоса,18}$
19	$pr_{насоса,19}$	$d_{насоса,19}$	$st_{насоса,19}$
20	$pr_{насоса,20}$	$d_{насоса,20}$	$st_{насоса,20}$
...

Список использованных источников

1. Волкова, Г.Д. Моделирование инженерных знаний при создании прикладных автоматизированных систем./ Г.Д. Волкова, М.В. Щукин // Информационные технологии в науке, образовании и промышленности: Материалы международной научно-технической конференции. - Архангельск: Соломбальская типография, 2005.– С. 52-57..
2. Пахомов, П.И. Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов. - Москва, 2009. 123 с.
3. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, П.И. Пахомов // Информационные технологии. 2009. №. 10. С. 34 – 38.
4. Пахомов, П.И. Модель информационного объекта трубопроводной системы / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Серия "технические науки" – 2009. Т. 3, №. 4. С. 184 – 190.

5. Пахомов, П.И. Процедурная модель выбора трубопроводной арматуры для водопроводных и тепловых систем / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Серия «технические науки». 2008. Т. 2, №. 4.С. 133 – 140.
6. Mokrozub, V.G Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov, A.V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. – Т. 53. – № 5-6. – С. 326-331.
7. Мокрозуб, В.Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.В. Морозов, А.С. Коновалова А.С. // Радиотехника. 2010. – № 12. – С. 29-32.
8. Немтинов, В.А. Использование системы моделирования динамических процессов для оперативного управления промышленным производством / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова. // Химическая промышленность сегодня. 2007. № 7. С. 43-48.
9. Немтинов, В.А. Оперативное управление выпуском продукции с использованием системы моделирования динамических процессов / В.А. Немтинов, Ю.В. Немтинова, Д.С. Русских // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2007. Т. 13. № 2. С. 372-378.
10. Немтинов, В.А. Использование интернета при информационной поддержке принятия решений по управлению промышленным предприятием / В.А. Немтинов, А.М. Манаенков, В.В. Морозов, Е.С. Егоров // Прикладная информатика. 2010. № 4.
11. Егоров, С.Я. Информационно-логическая модель компоновки промышленных объектов / С.Я. Егоров, В.А. Немтинов, М.С. Громов // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. 2006. № 4. С. 19-23.

УДК 004.9

Вшивков Ф.И., Ал-Магсуси Х.Ф.Х., Жирякова И.Г.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Vshivkov F.I., Al-Magsusi H.F.X., Zhiryakova I.G.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

CALCULATION ALGORITHM FOR THE STRENGTH OF SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS

Аннотация: Описана система прочностных расчетов фланцевых соединений технологического оборудования с плоскими приварными, свободными и приварными встык фланцам. Система содержит 3D модели фланцев, предназначенные для изучения студентами.

Ключевые слова: фланцевое соединение, технологическое оборудование, прочность, расчет.

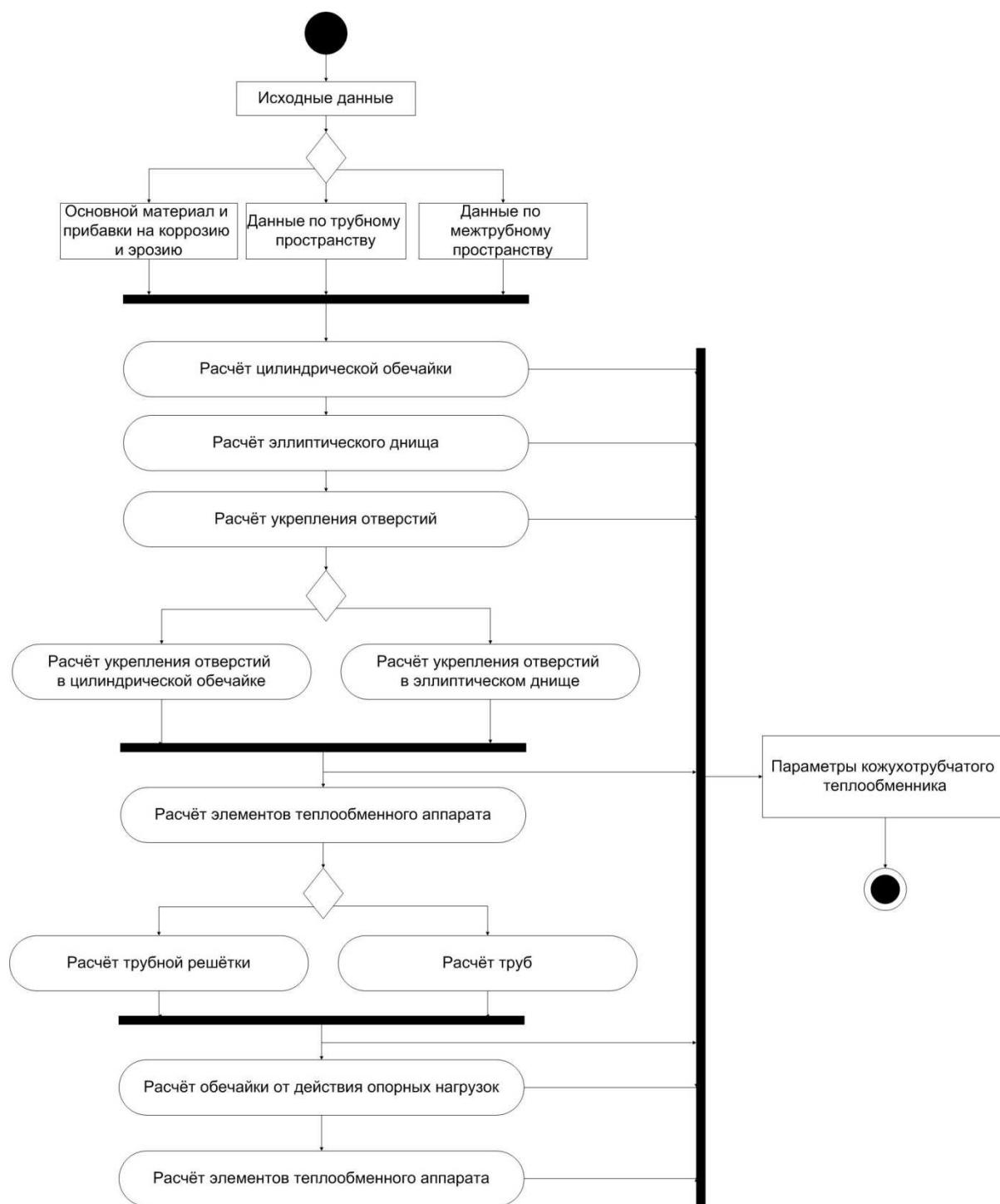
Abstract: The system of strength calculations of flange connections of technological equipment with flat welded, free and butt-welded flanges is described. The system contains 3D models of flanges designed for students to study.

Keywords: flange connection, technological equipment, strength, calculation.

Существует различное технологическое оборудование (ТО), при конструировании которого необходимо произвести прочностные расчеты его элементов. Это могут быть расчеты на прочность, жесткость, устойчивость и т.д. В число этих элементов входят и фланцевые соединения, которые необходимо рассчитывать на прочность и герметичность.

Такие расчеты требуют значительных временных затрат и поэтому целесообразно создать автоматизированную информационную систему (АИС), которая позволит сократить время, затрачиваемое на расчеты.

Например, хотелось бы иметь такую АИС, которая обрабатывая исходные данные, характерные для конкретного проектируемого ТО или его элементов (в данном случае фланцевых соединений), выдавала бы требуемый расчет и готовую конструкторскую документацию, выполненную в различных САД - системах.



Такая АИС, позволяющая производить расчет фланцевых соединений, разрабатывается на кафедре КИСМ ТГТУ в среде MathCAD и представляет собой электронную книгу. Книга имеет следующие разделы: область применения; обозначения; нормативные ссылки; общие положения; усилия, необходимые для смятия прокладки и обеспечения герметичности фланцевого соединения; усилия в болтах (шпильках) фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях; проверка прочности болтов (шпильки) и прокладки; расчет фланцев на статическую прочность; проверка углов

поворота фланцев; расчет элементов фланцевого соединения на малоцикловую усталость приложения; примеры расчетов.

Представленная система является элементом разрабатываемой системы автоматизированного проектирования ТО и управления химическими и машиностроительными предприятиями [1–5].

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Мокрозуба В.Г.

Список использованных источников

1. Немтинов, В.А. Информационная модель объекта сложной технической системы / В.А.Немтинов, В.Г. Мокрозуб, Ю.В. Немтинова, Е.С. Егоров // Радиотехника. – 2010. – № 12. – С. 41-43.
2. Мокрозуб, В.Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В.Г.Мокрозуб, Е.Н. Малыгин, С.В.Карпушкин – Текст: непосредственный // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23. – № 3. – С. 364-373.
3. Мокрозуб, В.Г. Процедурные и информационно-логические модели планирования выпуска продукции и ремонтов технологического оборудования многоассортиментных производств / В.Г. Мокрозуб, С.Я. Егоров, В.А. Немтинов – Текст: непосредственный // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 2. – С. 72-76.
4. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете // САПР и графика, 2015. № 1 (219). С. 38 – 39.
5. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В.Г.Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34-40.

УДК 004.384

Волков А.А., Вехтева Н.А., Обухов А.Д.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: didim@eclabs.ru

**ОТ DIGISPARK KICKSTARTER ДО NVIDIA JETSON NANO: ВЫБОР
АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРИ ПОСТРОЕНИИ
ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

Volkov A. A., Vehteva N. A., Obukhov A.D.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: didim@eclabs.ru

**FROM DIGISPARK KICKSTARTER TO NVIDIA JETSON NANO: THE
CHOICE OF HARDWARE PLATFORM FOR BUILDING
DIGITAL MONITORING AND CONTROL SYSTEMS**

Аннотация: В статье описываются наиболее распространённые семейства встраиваемых вычислительных систем, приводятся их основные особенности и технические характеристики, а также обозначаются возможные области применения при создании цифровых систем контроля и управления.

Ключевые слова: микроконтроллер, одноплатный компьютер, распределенная система управления, PIC, AVR, ARM.

Abstract. The article describes the most common series of embedded computing systems, their main features and specifications are given, and examples of possible areas of application when creating digital monitoring and control systems are provided.

Keywords: microcontroller, single board computer, distributed control system, PIC, AVR, ARM.

Значительная часть информации, поступающей из окружающего мира, по своей природе является аналоговым сигналом. Физические (сила, скорость, температура), химические (рН, концентрация тех или иных веществ) или электрические (напряжение, ток, ёмкость) параметры объектов или процессов – всё это аналоговые величины. Для работы с такими сигналами при помощи средств вычислительной техники необходимо выполнить их оцифровку – преобразование в дискретную форму. При этом, чем ближе к месту непосредственного сбора данных будет выполнена дискретизация, тем меньшей погрешности измерения можно добиться при прочих равных, поскольку цифровые линии связи куда менее подвержены влиянию внешних источников помех, чем аналоговые. Любая цифровая система контроля и управления, помимо непосредственно чувствительных элементов, датчиков и исполнительных блоков, включает в себя ряд вычислительных узлов, выполняющих как предварительную (дискретизация,

фильтрация, нормализация), так и основную обработку (анализ) поступающей информации, а также выдачу управляющих сигналов на исполнительные устройства.

В зависимости от масштаба системы, объёма получаемых данных, скорости их поступления и требуемой скорости реакции на изменение состояния, система может включать в себя как единый вычислительный узел (в этом случае все датчики и исполнительные блоки подключаются непосредственно к этому узлу), так и быть распределённой в пространстве. В последнем случае структура системы может быть иерархической, одноранговой или смешанной. При иерархической структуре системы первичную обработку информации выполняют вспомогательные вычислительные узлы, расположенные в непосредственной близости от чувствительных элементов системы, после чего подготовленные данные отправляются для анализа на центральный узел, а управляющие сигналы из центрального узла расходятся по исполнительным компонентам. В случае одноранговой структуры анализ информации и выдача управляющих сигналов выполняется теми же вычислительными узлами, что и предварительная обработка. При этом для координации работы системы в целом вычислительные узлы обмениваются между собой необходимой информацией о состоянии друг друга.

Одной из важных задач при построении подобных систем, как централизованных, так и распределённых, является выбор аппаратной платформы, на базе которой будут строиться вычислительные узлы. Современная микроэлектронная промышленность выпускает огромный спектр всевозможных решений в данной области, различающихся по множеству критериев. Выбор конкретного продукта или линейки продуктов в каждом отдельном случае определяется в первую очередь теми задачами, которые будет решать создаваемая система, а также условиями, в которых предстоит функционирование вычислительного комплекса. Немалую роль при подборе оборудования также играет конечная стоимость системы и удобство её разработки, внедрения, поддержки и модернизации в будущем. Для того, чтобы сделать грамотный выбор, необходимо иметь представление о существующих на рынке решениях и хотя бы в общих чертах понимать их функциональные возможности и целевые области применения. В данной статье будут рассмотрены основные семейства встраиваемых вычислительных систем от наиболее известных производителей микроэлектроники, описаны их основные особенности и технические характеристики, а также предложены возможные варианты применения в рамках автоматизированных систем контроля и управления.

Встраиваемые вычислительные системы общего назначения можно разделить на три большие группы: микроконтроллеры, одноплатные компьютеры и ПЛК (программируемые логические контроллеры). Микроконтроллер (МК) – это микросхема, объединяющая в себе вычислительное ядро, оперативную и энергонезависимую память, контроллеры различных периферийных устройств и интерфейсов, а также ряд вспомогательных блоков, таких как контроллер питания, тактовый генератор, сторожевой таймер и т.д. Микроконтроллеры наиболее полно реализуют концепцию «система на кристалле» (SoC), когда в одной интегральной схеме

объединяются все необходимые блоки для функционирования устройства. Одноплатные компьютеры строятся на базе различных мобильных процессоров, которые тоже являются решениями класса SoC, однако, в отличие от микроконтроллеров, как правило имеют внешнюю оперативную и постоянную память, но при этом комплектуются встроенным графическим ускорителем. ПЛК представляют собой готовые устройства, построенные на базе микроконтроллера, и приспособленные к работе в системах промышленной автоматики (имеют соответствующее конструктивное исполнение и различные защиты входов и выходов). Подавляющее большинство рассматриваемых далее решений построены на архитектуре с сокращённым набором команд (RISC).

Одним из базовых представителей класса МК является линейка контроллеров PIC16 от компании Microchip Technology. Представители данного семейства реализуют самый базовый функционал для работы с цифровыми сигналами, не имеют на борту аналоговых интерфейсов и предоставляют минимальный объём оперативной и постоянной памяти (порядка нескольких сотен байт ОЗУ и нескольких килобайт ПЗУ). [1] Данное семейства МК поддерживает программирование на языке ассемблера или на JAL (разработка компании Microchip). Область применения этих МК ограничивается обработкой несложных цифровых сигналов с передачей данных вовне по низкоуровневым цифровым протоколам. К достоинствам же данной линейки стоит отнести крайне низкое энергопотребление и достаточно демократичную стоимость.

Ещё одним представителем самых простых микроконтроллеров является семейство ATtiny компании Atmel. МК этой линейки построены на 8-битном ядре с архитектурой Atmel AVR, работающем на частоте до 20 МГц, имеют до 1 кб ОЗУ и до 8 кб постоянной памяти. В отличие от PIC16 контроллеры данной серии позволяют работать с аналоговыми сигналами при помощи встроенного АЦП и аналогового компаратора, а также имеют два выхода с поддержкой ШИМ. Отличительной особенностью данной линейки МК является компактный 6 или 8-выводной корпус, который позволяет создавать крайне миниатюрные устройства. Старшие представители семейства поддерживают ряд цифровых интерфейсов, таких как SPI и I²C. Как и все прочие контроллеры, построенные на архитектуре AVR, МК семейства ATtiny поддерживают язык ассемблера, C и C++ (с использованием AVR GCC toolchain). Как и в случае с МК семейства PIC16, к достоинствам линейки ATtiny можно отнести низкую стоимость и скромное энергопотребление. Область применения данных контроллеров – простые цифровые или аналоговые датчики с передачей сигнала по низкоуровневым цифровым интерфейсам. Одна из широко распространённых отладочных плат для ATtiny – Digispark Kickstarter, построенная на базе одного из старших контроллеров линейки – ATtiny85.

Следующим уровнем по производительности и техническому оснащению является линейка микроконтроллеров ATmega той же компании. Эти контроллеры также имеют 8-битное вычислительное ядро с архитектурой AVR, работающее на аналогичных частотах. При этом младшие представители линейки имеют вычислительные ресурсы, сопоставимые со старшими МК семейства ATtiny, обладая куда более обширным

набором периферии: 6 или 8 каналов АЦП, 6 каналов ШИМ, SPI и I²C, работающие независимо друг от друга, UART. Старшие представители семейства имеют значительно больший объём ОЗУ (до 8 кб) и ПЗУ (до 256 кб), а также дополнительный набор периферии: до 16 каналов АЦП, до 12 каналов ШИМ, до 4 UART. Также контроллеры ATmega имеют от 23 до 86 дискретных входов-выходов (GPIO). [2] Поддерживаемые языки программирования те же: ассемблер, C, C++. Наиболее широко известные отладочные платы с данными МК представлены под брендом Arduino. Область применения этих контроллеров уже значительно шире. На базе представителя среднего сегмента линейки (ATmega328) можно построить устройство, выполняющее первичную обработку нескольких аналоговых и пары десятков дискретных сигналов, а также цифровых сенсоров, подключенных через низкоуровневые интерфейсы (например I²C) с возможностью отправки данных по проводным (SPI, UART) интерфейсам, либо по радиоканалу с использованием внешних трансиверов. Также ATmega может выступать в качестве самостоятельного вычислительного узла для контроля несложных технологических процессов или установок, таких как гидравлический пресс или простой манипулятор. Относительно низкая стоимость позволяет массово применять данные МК в качестве узлов распределённых систем.

К этому же сегменту рынка можно отнести и семейство контроллеров STM8 от STMicroelectronics, потому не будем подробно останавливаться на данной линейке. Куда больший интерес вызывает другая серия продуктов ST – STM32. В отличие от всех рассмотренных ранее решений, контроллеры STM32 построены на базе 32-разрядных вычислительных ядер с архитектурой ARM Cortex M, что даёт значительный прирост производительности по сравнению с 8-битными решениями, так как последние вынуждены программно эмулировать работу с любыми числами, не укладывающимися в 1 байт. Линейка STM32 включает в себя множество различных контроллеров, от энергоэффективных STM32L0 на ядре Cortex M0+, примерно сопоставимых по ОЗУ, ПЗУ и периферии с ATmega, до вычислительных монстров STM32F7 на базе Cortex M7, с аппаратным блоком FPU (для работы с вещественными числами), множеством цифровых и аналоговых интерфейсов, в том числе высокоскоростных (USB, Ethernet), и встроенными контроллерами интерфейсов для LCD и камеры. [3] К преимуществам линейки STM32 можно также отнести наличие контроллера DMA, что позволяет получать и передавать данные периферии без участия вычислительного ядра. Как и контроллеры ATmega, STM32 поддерживают языки программирования C и C++, при этом компания-производитель выпускает набор специальных библиотек (LL, HAL), позволяющих при разработке абстрагироваться от конкретного кристалла, и делает код, написанный под один МК, переносимым на другие. Также для STM32 существует редакция операционной системы реального времени FreeRTOS, которая позволяет разделить код прошивки на отдельные задачи, что помогает структурировать код сложных проектов. Поскольку конфигурация контроллеров STM32 требует значительных объёмов шаблонного кода, производитель выпускает специальную среду для конфигурирования МК в удобном графическом интерфейсе – STM32CubeMX.

Среда позволяет автоматически сгенерировать весь код, необходимый для инициализации контролера.

Область применения контроллеров STM32 значительно шире, чем у продуктов семейства ATmega. Силами одного такого контроллера из не самой старшей линейки (STM32F103) можно не только обслуживать пару десятков аналоговых и цифровых датчиков, но и выполнять минимальную визуализацию данных на графическом дисплее небольшого разрешения (320x240) в реальном времени. Также подобный контроллер может выступать и в роли центрального вычислительного узла небольшой сети, собирая и обрабатывая данные с подчинённых более слабых МК. Выпускается так же специальная серия контроллеров STM32BW, которые имеют на борту встроенные трансиверы различных беспроводных интерфейсов (Bluetooth, ZigBee, Thread), что позволяет организовать передачу данных по радиоканалу силами единственного чипа с минимальной обвязкой. Для разработчиков компания ST выпускает ряд различных отладочных плат на STM32: Nucleo (физически и программно совместимы с Arduino), Discovery. Существуют и сторонние разработки, известные под кодовыми именами Blue Pill, Black pill и Red Pill.

Отдельного внимания заслуживает продукция компании Espressif Systems, которая выпускает две основные линейки МК, ориентированные в первую очередь на интернет вещей: ESP8266 и ESP32. Отличительными особенностями этих контроллеров является отсутствие в большинстве моделей встроенной постоянной памяти (предполагается использовать внешнюю память, подключаемую по SPI, в связи с чем объём этой памяти может быть очень большим по меркам микроконтроллеров – порядка нескольких десятков мегабайт), а также наличие на борту МК встроенных трансиверов Wi-Fi (с готовой реализацией сетевого стека вплоть до транспортного уровня) и Bluetooth (только в ESP32). Компания выпускает готовые модули на базе своих МК, не требующие никакой дополнительной обвязки для запуска беспроводных интерфейсов. По вычислительным возможностям решения компании Espressif сопоставимы с представителями среднего сегмента STM32. Они имеют 32-битное вычислительное ядро с архитектурой Xtensa (ESP32 имеет два ядра, одно из которых выделено производителем под обслуживание сетевого стека, а второе предоставляется разработчику для реализации внутренней логики), от 200 до 600 кб ОЗУ и достаточно богатый набор периферии. [4] Контроллеры ESP помимо стандартных для мира встраиваемых систем языков программирования C и C++, поддерживают также облегчённые варианты интерпретируемых языков Python и Lua, для чего существуют специальные базовые прошивки, позволяющие загружать основную программу как набор скриптов в виде исходных текстов. Основной областью применения контроллеров семейства ESP является создание компактных беспроводных устройств, ориентированных на обмен данными по локальной или глобальной вычислительной сети.

В тех случаях, когда вычислительной мощности даже самых продвинутых микроконтроллеров становится недостаточно, в бой вступают одноплатные компьютеры или микрокомпьютеры. Большинство одноплатных компьютеров

построены на SoC с архитектурой ARM Cortex A или MIPS, имеют от 64 Мб до нескольких гигабайт ОЗУ, и от десятков мегабайт до сотен гигабайт хранилища (при использовании внешних накопителей). Работают такие компьютеры под управлением полноценной операционной системы, обычно основанной на ядре Linux, что даёт полный спектр возможностей по выбору языка программирования и использованию готового стороннего ПО. Одним из самых бюджетных представителей микрокомпьютеров является Onion Omega 2, построенный на чипе от MediaTek MT7688AN (MIPS, 580 МГц), и имеющий 64 или 128 Мб ОЗУ и 16 Мб постоянной памяти. Работает данный компьютер под управлением OpenWRT. Одним из самых продвинутых решений в сегменте можно назвать NVIDIA Jetson Nano, построенный на базе собственной однокристальной системы с четырьмя ядрами ARM Cortex A57 и встроенным графическим ускорителем с поддержкой технологии параллельных вычислений CUDA. Как и микроконтроллеры, одноплатные компьютеры поддерживают низкоуровневый ввод-вывод через стандартные для мира МК интерфейсы: GPIO, UART, I²C, SPI и т. д., при этом имея на борту и привычные «компьютерные» интерфейсы: USB, Ethernet, Wi-Fi, ввод и вывод видео. На базе подобных решений могут быть построены центральные узлы сложных систем управления или вычислительных сетей, в задачи которых входит обработка больших объёмов данных в реальном времени (например изображений или видеопотока), или обсчёт сложных вычислительных моделей, например основанных на использовании нейронных сетей. С другой стороны, значительно более высокая стоимость и энергопотребление, чем у любого микроконтроллера, делает нецелесообразным применение таких решений в качестве периферийных узлов сети.

Выбор конкретного технического решения при построении каждой отдельно взятой системы должен основываться на нескольких базовых критериях: общей стоимости системы, простоте её разработки и поддержки, энергоэффективности и др. Проведенное в работе исследование позволило определить возможные области применения наиболее распространенных вычислительных систем с учетом их особенностей и технических характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. PIC16F627A/628A/648A Data Sheet. Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology // Microchip Technology inc. 2009.
2. 8-bit AVR Microcontrollers. ATmega328/P DATASHEET COMPLETE // Atmel. 2016.
3. Medium-density performance line ARM-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. Interfaces. Datasheet - production data // STMicroelectronics. 2015.
4. ESP8266 Technical Reference. Version 1.7 // Espressif. 2020.

УДК 519.816

Балашов А.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: balashovalexei@yandex.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОГО ПЕРЕХОДА В ПОЛИМЕРЕ,
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА РАЗЛАДКИ**

Balashov A.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: balashovalexei @yandex.ru

**DETERMINATION OF THE STRUCTURAL TRANSITION
IN THE POLYMER, USING THE DECOMPOSITION METHOD**

Аннотация: Разработан метод обнаружения изменения среднего в последовательности информативного параметра, с использованием выделения рабочего участка термограммы позволяющий определять структурный переход в полимере.

Ключевые слова: коэффициент тепловой активности, метод разладки, полезный сигнал, полимер, структурный переход.

Abstract. A method for detecting changes in the average in the sequence of an informative parameter has been developed, using the selection of the working section of the thermogram, which allowing to determine the structural transition in the polymer.

Keywords: coefficient of thermal activity, decomposition method, useful signal, polymer, structural transition.

В последнее время разработано множество информационно-измерительных систем (ИИС), реализующих контактные методы неразрушающего контроля структурных переходов в полимерных материалах по изменениям их теплофизических свойств (ТФС) с ростом температуры. ТФС определяют по рабочим участкам термограмм, полученных при тепловом воздействии от круглого источника тепла постоянной мощности по моделям плоского и сферического полупространств. Однако при работе ИИС возникает шум с достаточно большой амплитудой из-за теплового движения заряженных частиц в элементах электрических цепей. В связи с этим, разработка программного обеспечения для ИИС, реализующая метод обработки полезного сигнала при тепловом контроле структурных переходов в полимерах является актуальной и востребованной.

Теоретические основы метода теплового контроля структурных переходов в полимерах представлены в [1]. Теоретические основы метода обнаружения изменения среднего в последовательности гауссовских случайных величин представлены в [2].

Пример реализации случайного процесса с разладкой среднего, показан на рис. 1, *а*. Где разладкой является скачкообразное изменение его свойств, происходящее в неизвестный момент времени. Соответствующая этой реализации кумулятивная сумма представлена в виде функции (1) и на рис. 1, *б*. А статистика с порогом представлена функцией (3) и на рис. 1, *в*.

Логарифм отношения правдоподобия различения гипотез H_0 и H_1 при гауссовом распределении дискретных составляющих функции $f(x)$ для координаты скачка x_k , задаваемой ее номером k , при выполнении условия независимости составляющих принимает вид [2]

$$\Lambda(k) = \frac{v_f}{\sigma_f^2} \sum_{m=k}^M \left(f_m - \mu_{f0} - \frac{v_f}{2} \right), \quad (1)$$

где $v_f = m_{f0} - m_{f1}$ – величина скачка функции, представленной составляющими f_1, \dots, f_M , в анализируемой точке, m_{f0} – среднее до скачка, m_{f1} – среднее после скачка; σ_f^2 – дисперсия значений f_1, \dots, f_M анализируемого ряда.

С учетом выражения (1) оценка максимального правдоподобия \tilde{k} может быть записана в виде

$$\tilde{k} = \arg \max_k v_f \sum_{m=k}^M \left(f_m - \mu_{f0} - \frac{v_f}{2} \right), \quad (2)$$

а правило принятия решения о наличии скачка в точке \tilde{k} – решающая статистика – определяется следующим образом:

$$g_k = \Lambda(\tilde{k}) = \max_k v_f \sum_{m=k}^M \left(f_m - \mu_{f0} - \frac{v_f}{2} \right) \begin{matrix} H_1 \\ > \\ < \\ H_0 \end{matrix} \delta, \quad (3)$$

где δ – порог, выбираемый исходя из выбранного критерия; $k \in [1, \dots, M]$.

Исходные экспериментальные данные для ИИС имеют вид, представленные на рис. 2, *а* на котором выделен второй рабочий участок термограммы. Реализации функций для материала политетрафторэтилен (ПТФЭ) имеет следующий вид, представленные на рис. 2, *б*, *в*.

Результаты применения алгоритма [3] показывает, что есть разладка на исходных экспериментальных данных.

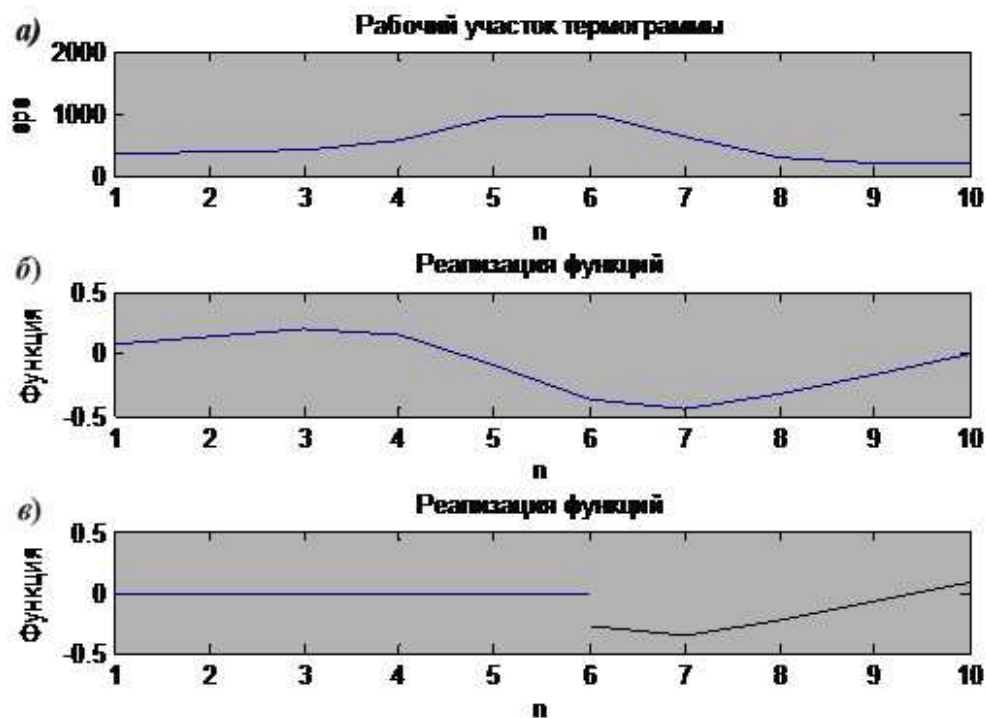


Рис. 1. Пример реализации случайного процесса с разладкой среднего (а), соответствующая этой реализации кумулятивная сумма (б) и статистика g_k (в)

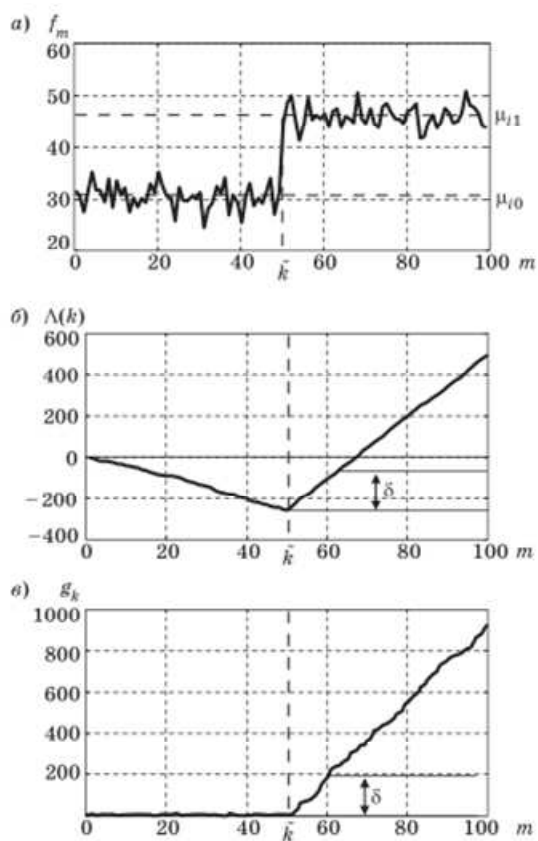


Рис. 2. Реализация функций для материала ПТФЭ

Таким образом, разработанное алгоритмическое и программное обеспечение метода обнаружения изменения среднего в последовательности информативного параметра, с использованием выделения рабочего участка термограммы позволяет определять структурный переход в полимере.

Список использованных источников

1. Многомодельные методы в микропроцессорных системах неразрушающего контроля теплофизических характеристик материалов / С.В. Мищенко, Ю.Л. Муромцев, Н.П. Жуков, Н.Ф. Майникова, И.В. Рогов, О.Н. Попов. – Тамбов. – 2012. – С. 112.
2. Козин, И.А. Модифицированный алгоритм обнаружения разладки случайного процесса и его применение при обработке многоспектральных данных / И.А. Козин, Г.Н. Мальцев // Информационно-управляющие системы. – 2012. № 3(58). – С. 9–17.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020613762 Российская Федерация. Метод выделения полезного сигнала при регистрации структурных переходов в полимерах с помощью статистических критериев : № 2020612668 : заявл. 10.03.2020 : опубл. 23.03.2020 / А. А. Балашов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет».

УДК 004.89

Иванов М. А.¹, Обухов А.Д.², Чеботов Н.А.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: makcimbx@gmail.com

²e-mail: obuhov.art@gmail.com

³e-mail: chobotov@bk.ru

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ivanov M. A.¹, Obukhov A.D.¹, Chebotov N.A.¹

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: makcimbx@gmail.com

²e-mail: obuhov.art@gmail.com

³e-mail: chobotov@bk.ru

ALGORITHMS FOR SOLVING IMAGE CLASSIFICATION PROBLEMS WITH NEURAL NETWORKS

Аннотация: Рассмотрена задача классификации изображений с использованием технологий машинного обучения. Данная задача может быть сформулирована по-разному и включает в себя класс других задач, позволяющих определить, какие объекты находятся на изображении и где они расположены в пиксельной сетке исходного изображения.

Ключевые слова: алгоритмы, классификация, нейронная сеть, решение задач, двух-этапные методы.

Abstract. The problem of image classification using machine learning technologies is considered. The problem of finding objects in the image can be formulated in various ways and includes a class of other problems that allow you to determine which objects are in the image and where they are located in the pixel grid of the original image.

Keywords: algorithms, classification, neural network, problem solving, two-stage methods.

Постановка задачи классификации изображений может варьироваться в зависимости от ситуации. Наиболее известны три типа задач классификации.

Задача классификации при локализации — это задача, в которой, помимо прогнозирования метки категории класса, определяется блок, ограничивающий положение экземпляра объекта на изображении. Как правило, рамка прямоугольная, ее стороны вы-

ровнены параллельно осям исходного изображения. Эта прямоугольная рамка называется «ограничивающей рамкой». Ограничивающая рамка может быть указана с центром, шириной и высотой или с четырьмя сторонами. Модель нейронной сети одновременно изучает правильную классификацию и наиболее точное определение границ кадра. Данная задача не так часто применяется на практике, так как предполагает наличие лишь одного объекта на изображении.

Задача поиска объектов на изображении требует от вас выбора нескольких объектов на изображении путем нахождения координат их ограничивающих прямоугольников и классификации этих ограничивающих прямоугольников из набора ранее известных классов. В отличие от классификации с локализацией, количество объектов на изображении неизвестно. Реализация алгоритмов для решения задач подобного типа является наиболее популярным в наше время. Они используются при нахождении злоумышленников на камерах видеонаблюдения, при создании автопилотов, обнаружении автомобильных нарушений на трассах.

Задача семантической сегментации — это задача, в которой изображение загружается в модель, а на выходе есть метка для каждого пикселя, которая указывает, что этот пиксель принадлежит определенной категории. Например, если человек пересекает улицу на исходном изображении, для каждого пикселя необходимо определить, является ли он частью человеческого тела, профилем улицы, дорожным знаком, небом или каким-либо другим типом. Основным недостатком использования только семантической сегментации для задач, связанных с распознаванием объектов, является маркировка пикселей в том смысле, что они принадлежат только типу объекта, в результате чего между объектами как таковыми не возникает различий. Задача семантической сегментации изображения с выделением объектов называется экземплярной сегментацией. Модели, решающие задачу сегментации экземпляров, используются, в том числе, для подсчета людей в толпе, для автомобилей с автоматическим управлением.

Далее мы рассмотрим проблему выбора объекта. Чтобы уменьшить количество рассматриваемых ограничивающих рамок, существует два основных подхода к параллельной разработке: двухэтапный метод и одноэтапный метод. Из-за своих особенностей работы оба метода применяются в совершенно разных областях.

Двухэтапные методы, также известные как «региональные», представляют собой двухэтапный подход. На первом этапе выбираются интересующие области путем выборочного поиска, то есть областей, в которых могут располагаться объекты, по сути регионы. На втором этапе выбранные регионы проверяются классификатором, чтобы определить, принадлежат ли они исходным классам и регрессорам, которые определяют положение ограничивающих прямоугольников. Скорость работы двухэтапных алгоритмов уступает скорости одноэтапных, однако может похвастаться более точной классификацией.

Как пример Region-CNN — это алгоритм, основанный на сверточных нейронных сетях. Вместо поиска изображений с скользящими окнами фиксированного размера алгоритм сначала пытается выборочно искать «области» - прямоугольные блоки разного

размера, которые предположительно содержат объект. Это позволяет быстрее и эффективнее обнаруживать объекты независимо от размера объекта, расстояния до камеры и угла обзора.

Выборочный поиск, в свою очередь, также можно обучить линейной регрессией параметров области - ширина, высота, центр. Этот метод, известный как регрессия ограничивающего прямоугольника, позволяет более точно выбирать объект. Характеристики, полученные в результате работы CNN, используются в качестве данных для регрессии. Иллюстрация работы представлена на рис. 1.

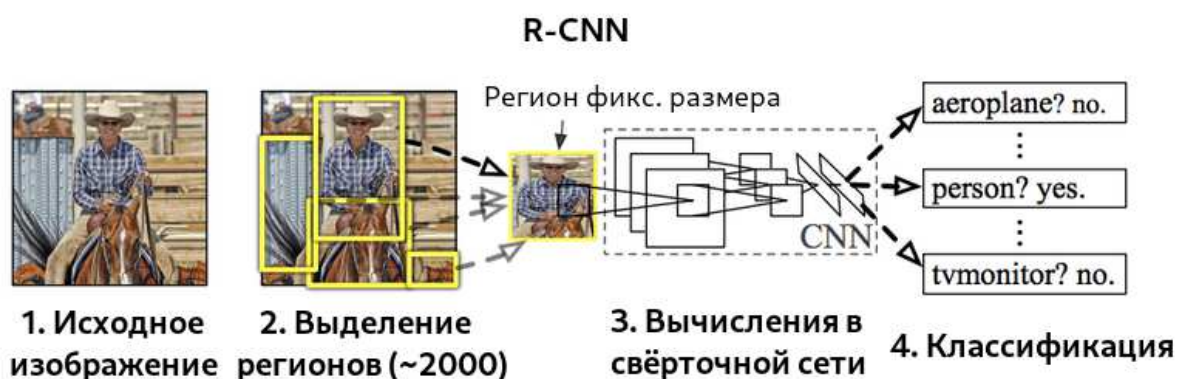


Рис. 1. Иллюстрация работы алгоритма R-CNN

Одноэтапные методы — это подход, который не использует отдельный алгоритм для создания областей, а вместо этого прогнозирует координаты определенного количества ограничивающих прямоугольников с различными свойствами, такими как результаты классификации и уровни достоверности, а затем регулирует положение прямоугольников. Данные методы привлекают в первую очередь своей скоростью работы и приемлемой точностью. Такие алгоритмы являются наиболее часто используемыми при практическом применении.

Алгоритм R-CNN и другие алгоритмы, которые на нём основаны используют предсказания на основе регионов, которые обеспечивают прекрасную точность, но могут быть очень медленными в некоторых областях, таких как беспилотные автомобили. Также стоит упомянуть о параллельно разрабатываемом, ином типе алгоритмов, о семействе алгоритмов быстрого выбора.

Алгоритм YOLO (в переводе «взгляни один раз») был предложен в 2016 году, и стал первой попыткой включить выбор объектов в реальном времени. Каждая ячейка описывает несколько вариантов расположения ограничивающих рамок для одного и того же объекта. Каждый из этих параметров представлен пятью значениями - координатами центра ограничивающего прямоугольника, его шириной и высотой, а также степенью уверенности в том, что ограничивающий прямоугольник содержит объект. Также необходимо определить для каждой пары класса объектов и ячейки вероятность того, что ячейка содержит объект этого класса.

Алгоритм YOLO быстрее, чем алгоритмы семейства R-CNN, потому что он поддерживает деление на постоянное количество ячеек вместо того, чтобы предлагать регионы и вычислять решение для каждой области отдельно, но плохо обнаруживает сложные формы объектов или группы небольшие объекты отображаются как проблемные объекты YOLO из-за ограниченного числа кандидатов в ограничивающую рамку. Иллюстрация работы представлена на рис. 2.

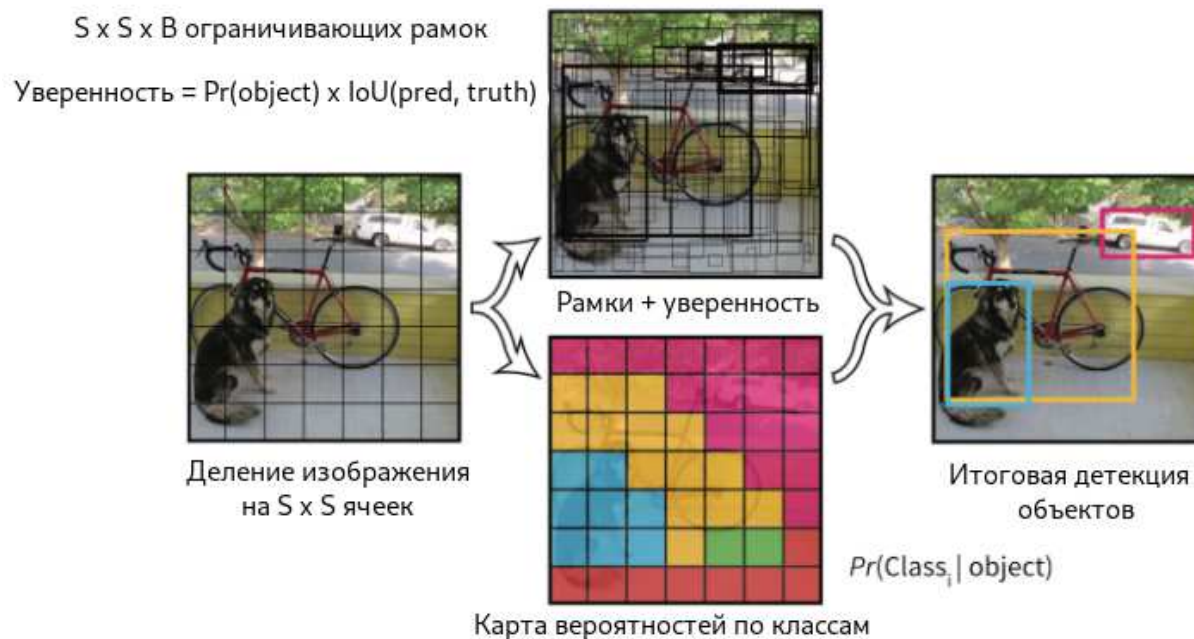


Рис. 2. Иллюстрация работы алгоритма YOLO

Архитектура YOLO была основана на модели распознавания GoogleNet. В качестве активационной функции в YOLO применяется Leaky rectified linear unit (LRelu).

Для практического решения задачи классификации с нахождением объектов могут быть использованы облачные сервисы Azure от компании Microsoft, позволяющие проводить вычисления для нейронной сети на собственных удалённых серверах.

Для нахождения объектов на изображении, в Microsoft Azure Services, необходимо зайти в раздел Custom Vision. В данном специальном разделе, нужно создать новый проект, учитывающий некоторые параметры облачных вычислений, с учетом нахождения объектов, после чего из панели, на которой возможно производить тонкую настройку и отладку соответствующих нейросетей, взять ключ для взаимодействия с проектом, и «ресурсами», созданными специально для него.

В первую очередь необходимо добавить тренировочные данные, которые будут использоваться тренировки и оценки точности нейронной сети. Кроме самих изображений, в них должна присутствовать информация об ограничивающих рамках и относящимся к ним классам. В тренировочных данных должны присутствовать как минимум 15 изображений, содержащих определённый класс.

Далее так как количество классов уже определено тренировочными данными, устанавливаем настройки, которые будут необходимы для подсчёта параметров, по которым мы будем ориентироваться об успешности или неудачи прошедшего обучения. После чего устанавливаем время обучения, и допустим через соответствующее SDK вызываем соответствующие методы и асинхронные операции для начала обучения и соответственно ожидания результата.

При тренировке нейронной сети, мы асинхронно получаем номер итерации, что позволяет вывести эти данные пользователю, чтобы он мог следить за ходом тренировки нейронной сети. После окончания тренировки существует возможность проверить правильность тренировки на собственных изображениях, с выделенным на изображении конечным результатом работы.

После этого, ориентируясь по параметрам Precision, Recall и mAP мы можем решить, достаточное ли качество у полученной нейронной сети, или нам необходимо добавить больше тренировочных данных в какой-либо из классов объектов. Precision – это точность нахождения объекта и определения рамки относительно исходных данных. Recall же в свою очередь отвечает за то, сколько относительно всех ограничивающих рамок из тренировочных данных, были найдено нейронной сетью. Average Precision представляет собой среднюю точность определения классов нейронной сетью.

Рассмотренные алгоритмы позволяют успешно решать задачи позиционирования и классификации изображений, что может использоваться при решении различных прикладных задач: обнаружения объектов, в «умных» домах, для распознавания номеров машин, отслеживания перемещений объектов и так далее. Конечный результат работы алгоритмов зависит как от самих исходных данных, так и от их качества.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках гранта Президента РФ МК-74.2020.9.

Список использованных источников

1. Шапиро, Л., Стокман, Дж.. Компьютерное зрение = Computer Vision. — М.: Бинном. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с.
2. Форсайт, Дэвид, Понс, Жан. Компьютерное зрение. Современный подход = Computer Vision: A Modern Approach. — М.: «Вильямс», 2004. — 928 с.

УДК 615.8

Дудина Е.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: ekaterina.dudina.2002@mail.ru

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТОВ
УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ
ПРАКТИКЕ**

Dudina E.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail:ekaterina.dudina.2002@mail.ru

**PROSPECTS FOR THE USE OF DEVICES SHOCK WAVE THERAPY IN
MEDICAL AND BIOLOGICAL PRACTICE**

Аннотация: Приводятся сведения об экстракорпоральной ударно-волновой терапии, которая включает в себя индуцирование микротравм неоднократными ударными волнами. Показано применение системы комбинированной ударно-волновой терапии - ДУОЛИТ SD1. Отмечаются перспективы применения и развития метода в медицине, поскольку экстракорпоральная ударно-волновая терапия является показательным примером эффективного физиотерапевтического подхода.

Ключевые слова: Экстракорпоральная ударно-волновая терапия, радиальные волны, фокусированные ударные волны, комбинированная терапия, стимуляция организма.

Abstract. The report provides information about extracorporeal shock wave therapy, which involves the induction of injuries by repeated shock waves. The use of the system of combined shock-wave therapy - DUOLIT SD1 is shown. Using of the method in medicine are noted, since extracorporeal shock wave therapy is a good example of an effective physiotherapeutic approach.

Keywords: Extracorporeal shock wave therapy, radial waves, focused shock waves, combination therapy, body stimulation.

Экстракорпоральная терапия включает в себя индуцирование микротравм в пораженный участок неоднократными ударными волнами, тем самым стимулируя неоваскуляризацию в область, которая способствует заживлению тканей. Ударные волны – это звуковые волны, которые обладают высокими амплитудами давления, а также временной способностью передачи энергии от места образования [1-3].

Аппарат ДУОЛИТ SD1 - системный аппарат комбинированной ударно - волновой терапии, который разработан для генерации двух видов волн - радиальных и фокусиро-

ванных. Аппликатор плоских ударных волн P-SW является дополнительным аксессуаром. Система управления переведена на русский язык и реализована при помощи сенсорного экрана. Экстраординарная эффективность этого современного ЭУВТ - аппарата является следствием мощного и индивидуального настраиваемого диапазона энергий. Система обеспечивает надежное лечение областей глубоко в теле. Его оптимальная фокусная зона гарантирует повышенную точность отведения. Успех лечения зависит от правильной диагностики. Поэтому компания STORZ MEDICAL предлагает интегрированное ультразвуковое исследование («серая шкала») и режим цветного доплеровского сканирования для DUOLITH SD1. Ежегодно Storz Medical выпускает обновление для внедрения современных функций в области медицины и развития техники. Хорошим дополнением к аппарату ЭУВТ является вибрационная терапия, которая может осуществляться благодаря дополнительному аппликатору. Вибрационная терапия улучшает микроциркуляцию в тканях и эффективна при профилактике или реабилитации. В результате ДУОЛИТ SD1 предоставляет оптимальные возможности терапии.

С самого начала, завоевавшая популярность, как эффективный метод лечения воспалительно-дегенеративных заболеваний опорно - двигательного аппарата, ударно - волновая терапия в настоящее время претерпевает изменения и новые направления своего развития, а также практического применения. Экстракорпоральная ударно-волновая терапия является показательным примером эффективного физиотерапевтического подхода. В результате врачи по всему миру получают выгоду от использования систем, разработанных Storz Medical AG. Это относительно новый метод, но со временем завоевывает большее внимание и авторитет, как среди больных, так и среди врачей. ЭУВТ терапия была показана для активации и распространения стволовых клеток в нескольких исследованиях. При применении вместе с шоковой волновой терапией, эти стволовые клетки могут дифференцироваться в клетки, которые должны быть заменены или восстановлены. Комбинации экстракорпоральной ударно-волновой терапии и терапии стволовыми клетками показали многообещающие результаты.

Список использованных источников

1. Фролов, С.В., Фролова, М.С., Потлов, А.Ю., Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. – 2014. – №3. – С.35-45.
2. Фролов, С.В., Маковеев, С.Н., Семенова, С.В., Фареа, С.Г. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем // Вестник ТГТУ. 2010. Т.16. №2. С.266-272.
3. Фролова, М.С., Фролов, С.В. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553-561.

УДК 66-9

Лазарев С. И., Хромова Т. А., Родионов Д. А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: tatyanka.xromova96@mail.ru

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО
АППАРАТА ТРУБЧАТОГО ТИПА**

Lazarev S. I., Khromova T. A., Rodionov D. A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: tatyanka.xromova96@mail.ru

**SOFTWARE FOR CALCULATION OF STRUCTURAL AND
TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A TUBULAR TYPE
ELECTROBAROMEMBRANE APPARATUS**

Аннотация: В работе представлена программа для расчета конструктивных параметров мембранного аппарата трубчатого типа. Произведен подсчет общего объема, объемов элементов и массы элементов электробаромембранного аппарата трубчатого типа, выполненного из различных видов материалов, выпускаемых промышленностью.

Ключевые слова: электробаромембранный аппарат, расчёт, параметр, проектирование, программный комплекс.

Abstract. The paper presents a program for calculating the design parameters of a tubular type membrane apparatus. The calculation of the total volume, volume of elements and mass of elements of a tubular type electrobaromembrane apparatus made of various types of materials manufactured by industry.

Keywords: electrobaromembrane apparatus, calculation, parameter, design, software package.

Очистка технологических растворов и сточных вод химических, машиностроительных и других производств является неотъемлемой частью производственных программ. При этом технологии, методы очистки и разделения растворов, в большинстве случаев используются традиционные, такие как отстаивание, фильтрование, центрифугирование и т.п.

В результате производственного процесса в технологических растворах, сточных водах предприятий оказывается достаточно большое содержание ценных (в том числе переносящих заряд) компонентов, которые могут быть использованы в производствен-

ном цикле повторно. Однако существует проблема выделения этих компонентов, так как в стоках возможно присутствие их в большом количестве. Традиционные методы не позволяют этого сделать, а применение электрохимического метода требует разработки современных и перспективных конструкций аппаратов для разделения технологических растворов.

Одними из таких аппаратов являются электродиализаторы [1], однако основное их назначение заключается в концентрировании раствора. Существующие электрохимические мембранные аппараты [2] требуют постоянной модернизации, расчета конструктивно-технологических параметров, изучения кинетики процесса с целью увеличения производительности, качества разделения, улучшения гидродинамических характеристик.

В работе предложена методика расчета объема элементов и массы корпуса аппарата. Отличительной особенностью оптимизированного устройства является то, что штуцеры в аппарате расположены на резьбе, позволяющей упростить процедуру изготовления элементов корпуса (обечайки, фланца) [3].

Методика инженерного расчета сводится к расчету объемов основных элементов конструкции аппарата, следующий этап общего расчета массы аппарата, общего объема и массы аппарата можно рассчитать по формулам (1-3).

Объем элементов аппарата из капролона определяется по формуле:

$$V_{a1} = n_{фл} V_{фл} + V_{к} + n_{тр.р} V_{тр.р} + n_{шт} V_{шт} + n_{шт}^{II} V_{шт}^{II}, \quad (1)$$

Учитывая, что для баромембранного разделения (без наложения разницы электрических потенциалов на мембранную систему) прижимная решетка и дренажная сетка могут быть выполнены из капролона, формула (1) примет вид:

$$V_{a1} = n_{фл} V_{фл} + V_{к} + n_{тр.р} V_{тр.р} + n_{шт} V_{шт} + n_{шт}^{II} V_{шт}^{II} + n_{пр.р} V_{пр.р} + n_{др.с} V_{др.с}, \quad (2)$$

Общая масса аппарата включает в себя массу элементов из капролона, фторопласта, титана:

$$m = \sum_{i=1}^3 m_{ai}, \quad (3)$$

где m_{ai} - масса элементов аппарата из капролона, фторопласта, титана соответственно, кг.

На основании методики инженерного расчета можно оптимизировать геометрические размеры и соответственно массу, из-за чего можно снизить стоимость производства аппаратов.

Рис.1. Расчетные величины

Разработанная программа позволяет рассчитать массу и объем основных элементов электробаромембранного аппарата, преимуществом данной программы является возможность адекватно переносить расчетные величины на аналогичные процессы при разработке технологических схем разделения, очистки и концентрирования промышленных растворов и стоков с применением мембран. На основании программы можно увеличить площадь разделения растворов, увеличить производительность и качество разделения растворов, снизить материалоемкость на единицу объема аппарата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-38-90036.

The reported study was funded by RFBR according to the research project №20-38-90036.

Список использованных источников

1. Пат. 2690339 Российская Федерация, МПК В01D61/42. Электродиализатор с охлаждением разделяемого раствора / Лазарев С. И., Ковалев С. В., Шестаков К. В. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ТГТУ» – № 2018137145, заявл. 22.10.2018; опубл. 31.05.2019, Бюл. №16.

2. Пат. 2712599 Российская Федерация, МПК В01D61/18, В01D63/06, В01D63/08. Электробаромембранный аппарат комбинированного типа / Лазарев С. И., Хорохорина И. В., Ковалев С. В. и др.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. – № 2019121998, заявл. 09.07.2019; опубл. 29.01.2020, Бюл. №4.

3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021612828, 25.02.2021. Программный комплекс для расчета конструктивно-технологических характеристик электробаромембранного аппарата трубчатого типа / Лазарев С.И., Коновалов Д.Н., Ковалева О.А., Хромова Т.А., Луа П., Ковалев С.В.; заявка № 2020668065 от 25.12.2020.

УДК 004.056

Моисеева М.В., Попова Е.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: mariyamoiseeva@mail.ru Elena.

e-mail: popova2001@yandex.ru

ЗАЩИТА ОТ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

Moiseeva M.V., Popova E.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: mariyamoiseeva@mail.ru Elena.

e-mail: popova2001@yandex.ru

PROTECTION AGAINST INFORMATION LEAKAGE THROUGH THE ACOUSTIC CHANNEL

Аннотация: рассматриваются акустический канал утечки информации, способы перехвата информации, методы защиты от утечки.

Ключевые слова: акустический канал, утечка, перехват информации, методы защиты, шум, звукоизоляция, помехи, защита информации, сигнал.

Abstract: the acoustic channel of information leakage, methods of interception of information, methods of protection against leakage are considered.

Keywords: acoustic channel, leakage, interception of information, methods of protection, noise, sound insulation, interference, information protection, signal.

Человеческая речь – это источник акустической информации, носителем которой являются акустические сигналы, распространяющиеся в воздухе, архитектурных конструкциях, линиях связи. Злоумышленник может перехватить акустический сигнал с помощью различных средств, поэтому защита речевой информации от утечки по техническим каналам является одной из важнейших задач в общем комплексе мероприятий по обеспечению информационной безопасности объекта или учреждения.

1 Акустический канал утечки информации

Акустический канал утечки информации является одним из видов технического канала. Технический канал – это совокупность объекта технической разведки, физической среды распространения информативного сигнала и средств, которыми добывается информация [1].

Перехват информации в акустическом канале может осуществляться различными способами. Самым простым способом является подслушивание, причём средствами перехвата выступают органы слуха человека и направленный микрофон. Человеческое

ухо способно воспринимать акустические сигналы, реагируя на изменение звукового давления, возникающего при распространении звуковой волны. Человек воспринимает звук в очень широком диапазоне звуковых давлений. Стандартный порог слышимости является опорной величиной этого диапазона, которому соответствует звуковое давление $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Используемые микрофоны должны отвечать высоким требованиям к чувствительности, разборчивости и узнаваемости речевого сигнала. Преобразование звука в электрический сигнал должно осуществляться с высокой информационной точностью.

Для передачи перехваченных речевых сообщений на расстояние используют закладные устройства, по которым преобразованный акустический сигнал передается в пункт назначения. В состав радиозакладки обычно входит запоминающее устройство, на которое записывается перехваченное речевое сообщение [2].

Перехват информации, также может осуществляться как непосредственно с конструкций помещений: стены, трубы, окна и прочие, так и с помощью лазерных средств акустической разведки. При воздействии акустической волны на конструкции, в них возникают упругие колебания, которые также могут быть зарегистрированы датчиками злоумышленника. С этой целью используют вибродатчики, преобразующие вибрационные колебания в электрические сигналы, в соответствующем диапазоне частот, а также стетоскопы [2].

Направляя на тонкие отражающие поверхности помещения лазерный луч, злоумышленник получает отраженный модулированный сигнал, демодуляция которого приводит к получению исходного речевого сигнала [3]. Данный метод позволяет снимать информацию максимально безопасно для злоумышленника, избегая необходимости размещения в контролируемом помещении подслушивающего устройства.

2 Методы защиты от утечки информации

Для защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу используются пассивные и активные методы защиты.

К пассивным методам относится звукоизоляция помещений, которая направлена на локализацию источников акустических сигналов внутри них и проводится с целью исключения перехвата акустической информации [4].

Звукоизоляция помещений обеспечивается специальными архитектурными и инженерными средствами и решениями, а также применением звукопоглощающих строительных и отделочных материалов. Эффективными средствами звукоизоляции помещений являются акустические экраны, устанавливаемые на наиболее опасных направлениях распространения звука. Акустическое экранирование целесообразно использовать и при временном использовании помещения для защиты акустической информации.

Вторым пассивным методом защиты от утечки информации является обнаружение закладных устройств, которое производится по их демаскирующим признакам [3]. Каждый вид электронных устройств перехвата информации имеет свои демаскирующие признаки, позволяющие обнаружить закладку. Камуфлированные акустические заклад-

ки по внешнему виду не отличаются от объекта имитации, особенно если закладка устанавливается в корпус бытового предмета без изменения его внешнего вида. Такие закладки можно выявить путем разборки предмета. Однако, чтобы исключить возможность выявления закладки путем ее разборки, места соединения разбираемых частей склеивают. Некоторые камуфлированные закладные устройства не отличаются от оригиналов даже при тщательном внешнем осмотре. Их можно обнаружить только при просвечивании предметов рентгеновскими лучами.

Таким образом, применение пассивных методов защиты может не обеспечить заданный уровень активного шумления помещения, но это могут сделать методы активной защиты.

Под активными методами защиты акустической информации понимают создание маскирующих акустических помех (шумовые, речеподобные и акустическая маскировка), загрязняющих основной полезный сигнал.

Защита акустического канала утечки может быть реализована посредством использования средств акустической маскировки. Для таких целей используют вибродатчики, закрепив их на твердых поверхностях можно добиться шумления канала. Интенсивные колебания датчика существенно превышают амплитуду полезного речевого сигнала, что приводит к невозможности качественного выявления исходного сигнала [4].

Речеподобные помехи – формируются путем микширования в различных сочетаниях отрезков речевых сигналов и музыкальных фрагментов, а также шумовых помех, или формируется из фрагментов скрываемого речевого сигнала при многократном наложении с различными уровнями. Использование речеподобной помехи в системе защиты информации от утечки по акустическому каналу не только является эффективным методом предотвращения утечки речевой информации, но и является более «мягким», по отношению к находящимся в помещении людям способом. Более низкий уровень шума, необходимый для достижения поставленного уровня защиты, спектр сигнала, близкий к речи человека – эти факторы делают работу в защищаемом помещении более комфортной и спокойной, и не утомляют человека своим воздействием.

В данной статье рассмотрен акустический канал утечки информации, а именно методы защиты от утечки. Выявлено, что к основным методам защиты относятся звукоизоляция, поиск закладных устройств, генераторы шума. Установлено, что для создания шумов лучше использовать речеподобные помехи, а не средства акустической маскировки, так как последние плохо сказываются на состоянии людей, находящихся в помещении, у них появляются усталость и быстрая утомляемость.

Реализация оптимальной системы защиты информации для каждого из защищаемых помещений осуществляется с учетом особенностей расположения объектов защиты, ценности защищаемой информации, технического оснащения объектов защиты, с использованием прогрессивных способов и методов защиты информации.

Список использованных источников

1. Ворона, В.А. Способы и средства защиты информации от утечки по техническим каналам [Текст] / В.А. Ворона, В.О Костенко // Computational nanotechnology, 2016. №3. – С. 208 – 223.
2. Дидковский, В.С. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / В.С. Дидковский, М.В. Дидковская, А.Н. Продеус. – Киев: Имэкс-ЛТД, 2008. – 420 с.
3. Царегородцев, А.В. Методы и средства защиты информации в государственном управлении / А.В. Царегородцев, М.М. Тараскин. – М.: Проспект, 2017. – 205 с.
4. Лыньков, Л.М. Основы защиты информации и управления интеллектуальной собственностью / Л.М. Лыньков, В.Ф. Голиков, Т.В. Борботько. – Минск: БГУИР, 2013. – 243 с.

УДК 004.056

Жоголева Я.А.¹, Яковлев А.В.², Самодурова У.С.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: zhogoleva8@mail.ru

²e-mail: yava73@bk.ru

³e-mail: ms.ulyana.2001@mail.ru

УГРОЗЫ И УЯЗВИМОСТИ КРИТИЧЕСКИМ ИНФОРМАЦИОННЫМ ИНФРАСТРУКТУРАМ

Zhogoleva Y.A.¹, Yakovlev A.V.², Samodurova U.S.³

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: zhogoleva8@mail.ru

²e-mail: yava73@bk.ru

³e-mail: ms.ulyana.2001@mail.ru

THREATS AND VULNERABILITIES FOR CRITICAL INFORMATION INFRASTRUCTURES

Аннотация: рассматриваются критические информационные инфраструктуры, их наиболее уязвимые места и представляемые для них угрозы. В Федеральном законе от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ) Российской Федерации» особое внимание уделено защите информационных систем, информационно-телекоммуникационных сетей и автоматизированных систем управления государственных органов и учреждений; систем, функционирующих в сфере здравоохранения, науки, транспорта, связи; систем ракетно-космической, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности; российских юридических лиц.

Ключевые слова: компьютерный инцидент, компьютерная атака (кибератака), вредоносное программное обеспечение, система обнаружения

Abstract: critical information infrastructures, their most vulnerable places and the threats presented to them are considered. Federal Law №187-FZ dated 26.07.2017 «On the Security of Critical Information Infrastructure (CII) of the Russian Federation» pays special attention to the protection of information systems, information and telecommunication networks and automated control systems of state bodies and institutions; systems operating in the field of healthcare, science, transport, communications; systems of the rocket and space, mining, metallurgical and chemical industries; Russian legal entities.

Keywords: computer incident, computer attack (cyberattack), malicious software, detection system.

В наше время большая часть важных сведений уже давно не хранится в виде бумажных документов и не обрабатывается нецифровыми системами, поэтому для защиты данных необходимо использовать именно цифровые методы защиты. Такие методы применяются в сфере защиты секретной государственной информации уже несколько десятков лет, к тому же стремительное распространение сферы информационных технологий достигло не только правительственных учреждений, но и других важных для функционирования государства сфер. Например, медицины и здравоохранения, сфер финансового рынка, многих видов промышленности, включая военную, науки, транспорта и связи. Создаваемые информационные системы нередко подвергаются различным кибератакам, ставящими своей целью похищение ценных сведений и новейших разработок или же, – что куда масштабнее, – вывод из строя этих самых систем, а также диверсию. Становится очевидным, что на происходящее нельзя закрывать глаза, иначе с разрушением критических информационных структур государства под большой угрозой окажется и само существование этого государства, а потому определение основных уязвимостей и принятие защитных мер на их основе является достаточно актуальной научно-практической задачей.

В Федеральном законе от 26.07.2017 № 187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры (КИИ) Российской Федерации» говорится: «КИИ – это сами её объекты, а также сети электросвязи, используемые для организации взаимодействия таких объектов». К числу объектов, указанных в законе, относятся информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети и автоматизированные системы управления субъектов КИИ. В качестве субъектов выделяются: госорганы и госучреждения; системы, функционирующие в сфере здравоохранения, науки, транспорта, связи; системы ракетно-космической, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности; российские юридические лица и индивидуальные предприниматели, которые обеспечивают взаимодействие указанных систем или сетей [1].

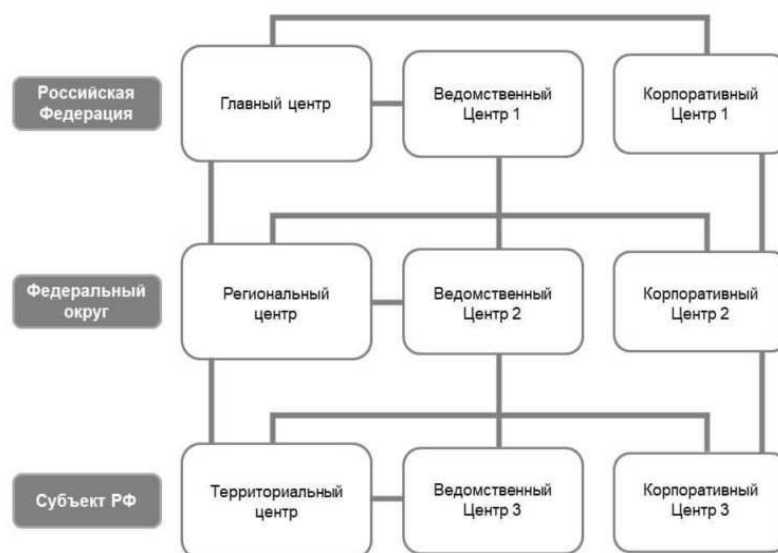


Рис. 1. Обобщённая структура ГосСОПКА.

Согласно закону, субъекты КИИ должны проводить обязательное категорирование объектов, тем самым обеспечивая их интеграцию в государственную систему обнаружения, предупреждения и ликвидации последствий кибератак и заблаговременное принятие организацион-

ных и технических мер по обеспечению их безопасности [2]. Тесно связано с субъектами и такое понятие, как «ГосСОПКА». ГосСОПКА – это единый территориально распределенный комплекс, включающий в себя силы и средства, предназначенные для выполнения всех функций субъектов, выраженных в реагировании на компьютерные инциденты (рис. 1). Иными словами, это такая совокупность центров, в число которых входит Национальный координационный центр по компьютерным инцидентам (НКЦКИ).

Среди основных функций НКЦКИ особую роль играет сбор, хранение и анализ данных о компьютерных инцидентах и атаках, поскольку это означает, что всем субъектам КИИ необходимо информировать центр о случившихся событиях в информационной безопасности системы [3].

Часто используемое в описании работы ГосСОПКА (и НКЦКИ в частности) понятие «компьютерного инцидента» означает факт нарушения и (или) прекращения функционирования объекта критической информационной инфраструктуры, сети электросвязи, используемой для организации взаимодействия таких объектов, и (или) нарушения безопасности обрабатываемой таким объектом информации, в том числе произошедший в результате компьютерной атаки.

К компьютерным инцидентам относят следующие типы событий:

- внедрение модулей вредоносного программного обеспечения и его распространение;
- компьютерная и распределённая компьютерная атака типа «отказ в обслуживании»;
- несанкционированный вывод из строя или непреднамеренное отключение информационного ресурса;
- успешная эксплуатация уязвимости информационного ресурса;
- компрометация учетной записи или социальная инженерия, направленная на неё;
- прослушивание сетевого трафика;
- несанкционированное разглашение или изменение информации, обрабатываемой в информационном ресурсе;
- рассылка спам-сообщений и публикация в контролируемом информационном ресурсе запрещенной законодательством РФ информации;
- злоупотребление правами при использовании информационного ресурса;
- публикация в информационном ресурсе мошеннической информации.

К уязвимостям КИИ же относят только наличие уязвимости или недостатков конфигурации в контролируемом информационном ресурсе [4].

Так, ознакомившись с различными видами компьютерных инцидентов и уязвимостей, можно предположить, что помимо уже произошедшего «инцидента» к их числу также относят и некоторые виды компьютерных атак. Выходит, что с помощью обнаружения и предотвращения компьютерных атак можно предотвратить большую часть компьютерных инцидентов в целом.

Прежде всего стоит понимать защиту структуры как вовремя обнаруженную и впоследствии устранённую угрозу. Обнаружение атак – это процесс оценки подозрительных действий, происходящих в сети, на основе которых и предпринимаются все дальнейшие действия по защите ресурсов, если в этом появляется необходимость. Для обнаружения подозрительных изменений используются специальные системы – программные или аппаратные средства, предназначенные для выявления фактов неавторизованного доступа в компьютерную систему или сеть, либо для несанкционированного управления ими. Использование подобных систем позволяет обеспечить дополнительный уровень защиты: надежность отправки и доставки сообще-

ний, локализацию места воздействия нарушителя, оповещение о нарушениях, восстановление нарушенного процесса функционирования [3].

Исходя из приведённого в данной статье материала, можно сделать вывод, что на данный момент в сфере обеспечения защиты для критических информационных инфраструктур преобладает такой метод, как обнаружение различных подозрительных изменений и действий с помощью специально предназначенных для этого систем. Это хороший вариант для своевременного реагирования на происходящие или уже произошедшие компьютерные инциденты, в частности на разного рода компьютерные атаки. В дальнейшем, как я считаю, стоит сосредоточиться на разработке новых и улучшении существующих систем для того, чтобы спектр обнаруживаемых инцидентов мог только расширяться со временем, обеспечивая критические информационные структуры наиболее полной системой защиты от внутреннего и внешнего воздействия.

Список использованных источников

1. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации : федер. закон от 26 июля 2017 г. № 187-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. – 2017. – № 31. – Ст. 4736.
2. Информация об НКЦКИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cert.gov.ru> (дата обращения 06.10.2021).
3. Лукацкий, А.В. Обнаружение атак / А.В. Лукацкий. – СПб: Питер, 2006. – 680 с.
4. Кевин, М. Защита от вторжений. Расследование компьютерных преступлений / М. Кевин, К. Просис. – СПб.: Лори, 2005. – 476 с.

УДК 519.172.5

Самодурова У. С.¹, Жоголева Я. А.², Яковлев А. В.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: ms.ulyana.2001@mail.ru

²e-mail: zhogoleva8@mail.ru

³e-mail: yava73@bk.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОКОЛА ИДЕНТИФИКАЦИИ
С НУЛЕВЫМ РАЗГЛАШЕНИЕМ ТАЙНЫ
НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

Samodurova U. S.¹, Zhogoleva Y. A.², Yakovlev A. V.³

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: ms.ulyana.2001@mail.ru

²e-mail: zhogoleva8@mail.ru

³e-mail: yava73@bk.ru

**SIMULATION OF THE IDENTIFICATION ZERO-KNOWLEDGE
PROTOCOL BASED ON PETRI NETS**

Аннотация: в данной работе рассматривается модель идентификации субъекта с нулевым разглашением тайны на основы сетей Петри, а также определяется ее эффективность с помощью анализа строения и свойств.

Ключевые слова: протокол идентификации с нулевым разглашением тайны, сети Петри, протокол Фиата-Шамира.

Abstract: this article considers zero-knowledge model of identification of a subject based on Petri net model and determines its effectiveness with the assistance of analysis of its structure and properties.

Keywords: identification zero-knowledge protocol, Petri net model, Fiat-Shamir protocol.

Идентификация является начальной стадией процедуры предоставления доступа к информационным ресурсам системы. Происходит процесс распознавания субъекта в компьютерной системе или на веб-ресурсе при помощи анализа его уникального идентификатора, присвоенного субъекту ранее и занесенного в базу данных в момент его регистрации как легального пользователя системы [1].

Проводимая проверка подлинности осуществляется на основе протокола Фиата-Шамира. Это наиболее известный протокол идентификации личности с помощью доказательства с нулевым знанием. Стойкость протокола основывается на сложности извле-

чения квадратного корня по модулю достаточно большого составного числа n , факторизация которого неизвестна.

Таблица 1. Описание позиций и переходов для модели идентификации с нулевым разглашением тайны

Позиция	Описание	Переход	Описание
p_0	Выбор пользователем случайного числа g из интервала $(1, n-1)$	t_0	Пользователь вычисляет $x = g^2 \bmod n$
p_1	Пользователь получает значение x	t_1	Пользователь отправляет значение x проверяющему
p_2	Получение проверяющим значение x	t_2	Проверяющий выбирает случайный бит e
p_3	Случайный бит e выбран	t_3	Проверяющий отправляет пользователю бит $e = 0$
p_4	Получение бита $e = 0$	t_4	Пользователь отправляет число g
p_5	Получение числа g проверяющим	t_5	Проверяющий отправляет сообщение о принятом доказательстве
p_6	Получение бита $e = 1$	t_6	Проверяющий отправляет пользователю бит $e = 1$
p_7	Получение значения y пользователем	t_7	Пользователь вычисляет число $y = g^s \bmod n$
p_8	Получение значения y проверяющим	t_8	Пользователь отправляет значение y проверяющему
p_9	Получение результатов проверки $y \neq 0$	t_9	Проверяющий получив значение y , анализирует $y \neq 0$
p_{10}	Получение пользователем сообщения о недействительном доказательстве	t_{10}	$y = 0$, проверяющий отправляет сообщение о том, что доказательство недействительно
p_{11}	Получение сообщения о продолжении идентификации	t_{11}	$y \neq 0$, проверяющий отправляет сообщение о продолжении проверки
p_{12}	Получение результатов проверки равенства $y^2 \equiv x * v^e \pmod{n}$	t_{12}	Проверяющий анализирует равенство $y^2 \equiv x * v^e \pmod{n}$
p_{13}	Пользователь получает сообщение об ошибке	t_{13}	Равенство неверно, проверяющий отправляет сообщение об ошибке
		t_{14}	Равенство верно, проверяющий отправляет сообщение о прохождении идентификации

В целях получения количественных показателей необходимо создать динамическую модель протокола идентификации с нулевым разглашением тайны. В качестве математического аппарата выберем сети Петри, обладающие отличными моделирующими свойствами. Описание позиций и переходов разработанной модели представлено в табл.1.

Зададим сеть Петри в виде [2]:

$S = \{P, T, I, O, \mu\}$, где P – множество позиций, T – множество переходов, I – входная функция, O – выходная функция, μ – начальная маркировка.

Разработанная сеть обладает статическими и динамическими свойствами. Проанализируем статистические свойства сети Петри для разработанной сети:

1) конечное множество позиций: $P = \{p_0, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}, p_{12}, p_{13}\}$;

2) конечное множество переходов: $T = \{t_0, t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}\}$;

3) множество входных позиций перехода:

$I = \{I(t_0), I(t_1), I(t_2), I(t_3), I(t_4), I(t_5), I(t_6), I(t_7), I(t_8), I(t_9), I(t_{10}), I(t_{11}), I(t_{12}), I(t_{13}), I(t_{14})\}$;

$I(t_0) = \{p_0\}, I(t_1) = \{p_1\}, I(t_2) = \{p_2\}, I(t_3) = \{p_3\}, I(t_4) = \{p_4\}, I(t_5) = \{p_5\}, I(t_6) = \{p_3\}, I(t_7) = \{p_6\}, I(t_8) = \{p_7\}, I(t_9) = \{p_8\}, I(t_{10}) = \{p_9\}, I(t_{11}) = \{p_9\}, I(t_{12}) = \{p_{11}\}, I(t_{13}) = \{p_{12}\}, I(t_{14}) = \{p_{12}\}$;

4) множество выходных позиций перехода:

$O = \{O(t_0), O(t_1), O(t_2), O(t_3), O(t_4), O(t_5), O(t_6), O(t_7), O(t_8), O(t_9), O(t_{10}), O(t_{11}), O(t_{12}), O(t_{13}), O(t_{14})\}$;

$O(t_0) = \{p_1\}, O(t_1) = \{p_2\}, O(t_2) = \{p_3\}, O(t_3) = \{p_4\}, O(t_4) = \{p_5\}, O(t_5) = \{p_0\}, O(t_6) = \{p_6\}, O(t_7) = \{p_7\}, O(t_8) = \{p_8\}, O(t_9) = \{p_9\}, O(t_{10}) = \{p_{10}\}, O(t_{11}) = \{p_{11}\}, O(t_{12}) = \{p_{12}\}, O(t_{13}) = \{p_{13}\}, O(t_{14}) = \{p_0\}$;

5) начальная маркировка: $\mu_0 = \{1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$.

Построенная сеть Петри (Рис. 1) представляет собой модель информационного взаимодействия между пользователем и проверяющим сервером.

Полный анализ сети Петри можно осуществить с помощью изучения и анализа ее динамических свойств: достижимости, ограниченности, активности, обратимости и достижимости тупиковой разметки [2].

1. Достижимость: маркировка μ_n достижима из маркировки μ_0 , если существует последовательность запусков, приводящих от μ_0 к μ_n . Множество всех маркировок, достижимых в сети (N, μ_0) от μ_0 , обозначаются как $R(N, \mu_0)$, или $R(\mu_0)$.

2. Ограниченность: сеть Петри называется K – ограниченной, или просто ограниченной, если для любой маркировки, достижимой от маркировки μ_0 , количество фишек в любой позиции не превышает некоторого числа K , то есть $\mu(p) \leq K$ для любого p и любой маркировки μ , принадлежащей $R(\mu_0)$.

3. Активность: сеть Петри активна, если независимо от достигнутой μ_0 маркировки, для любого перехода существует последовательность дальнейших запусков, приводящая к его запуску.

4. Обратимость и базовое состояние: сеть Петри обратима, если для любой маркировки μ из $R(\mu_0)$ маркировка μ_0 достижима от μ . Маркировка μ называется базовым состоянием, если она достижима от любой маркировки μ из $R(\mu_0)$.

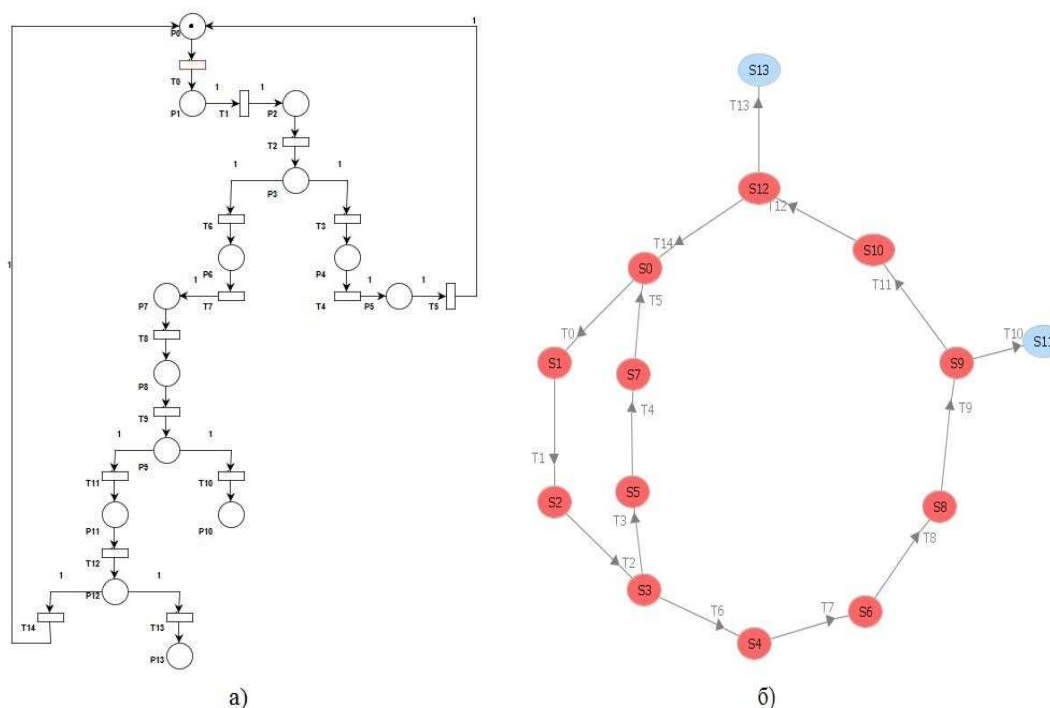


Рис. 1. Протокол с нулевым разглашением тайны: а) динамическая модель; б) дерево достижимости для построенной сети

Достижимость тупиковой разметки: делает дальнейшее срабатывание любого перехода в данной сети невозможным. Рассмотренная модель протокола Фиата-Шамира является: достижимой, ограниченной, активной, не является обратимой и не имеет достижимость тупиковой разметки. Дерево достижимости представляет все достижимые маркировки сети Петри, а также – все возможные последовательности запусков её переходов.

Моделирование проводилось с помощью прикладного программного обеспечения Pipe3.0.

Таким образом, построена модель, реализующая идентификацию на основе протокола Фиата-Шамира, проведен анализ по динамическим свойствам полученной сети Петри, что позволяет получить некоторые количественные показатели данного протокола.

Список использованных источников

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирования систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. – 264 с.
2. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си: Пер. с англ. М.: Триумф, 2002. – 816 с.

УДК 004.9

Федорова Г.Н.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

ВНЕШНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТОКИ ОТДЕЛА ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Fedorova G.N.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: mokrozubv@yandex.ru

EXTERNAL INFORMATION FLOWS OF THE TECHNICAL CONTROL DEPARTMENT OF A MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

Аннотация: Работа отдела технического контроля в современных условиях невозможна без применения информационных систем. Для разработки подобных систем на начальном этапе необходимо определить входные и выходные информационные потоки. В работе представлены связи отдела технического контроля с основными отделами машиностроительного предприятия.

Ключевые слова: отдел технического контроля, информационные потоки, машиностроительное предприятие.

Abstract: The work of the technical control department in modern conditions is impossible without the use of information systems. To develop such systems at the initial stage, it is necessary to determine the input and output information flows. The paper presents the relations of the technical control department with the main departments of the machine-building enterprise.

Keywords: technical control department, information flows, machine-building enterprise.

Отдел технического контроля (ОТК) – один из основных отделов любого предприятия выпускающего готовую продукцию. От правильной его работы зависит качество выпускаемой продукции, что в конечном итоге определяет конкурентную способность предприятия и его финансовое благополучие.

Несмотря на то, что ОТК является самостоятельным структурным подразделением предприятия и подчиняется директору по качеству, он имеет взаимоотношения с другими подразделениями предприятия.

Основная задача отдела технического контроля - не просто найти брак в готовом изделии, а определить причины брака и способы их устранения. Это требует постоянного взаимодействия ОТК с другими отделами на разных этапах жизненного цикла изделия.

В современных условиях работа ОТК машиностроительного предприятия невозможна без использования информационных систем [1-4]. Первым шагом создания подобных систем является анализ внешних информационных потоков для определения качества готовой продукции (рис.1)

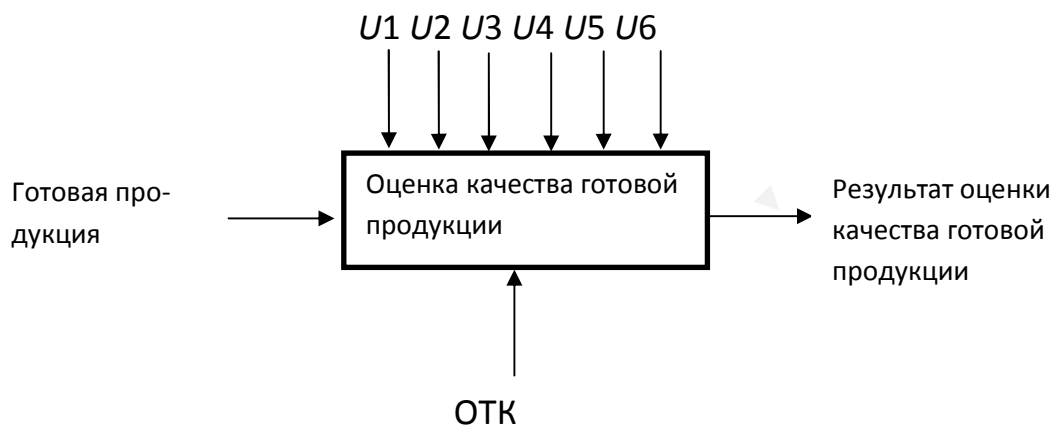


Рис. 1. Первичная диаграмма оценки качества готовой продукции машиностроительного предприятия.

U1 – Отдел главного конструктора. Основная информация – чертежи, расчеты, спецификации, технические требования, условия испытаний и др.

U2 – Отдел главного технолога. Основная информация – заготовка, последовательность операций для изготовления деталей и их сборки, оборудование, инструменты, оснастка, режимы работы оборудования, необходимые для изготовления готовой продукции.

U3 – Отдел технической документации. Основная информация – места хранения документации, используемой при изготовлении изделий, поиск необходимых документов.

U4 – Планово диспетчерский отдел. Основная информация – задания цехам на выпуск отдельных составляющих готового изделия, загрузка оборудования, расчет численности и квалификации рабочих, необходимых для изготовления запланированной продукции.

U5 – Центральная измерительная лаборатория. Основная информация – реестр средств измерений и их состояние, результаты определенных видов измерений.

U6 – Бюро технического контроля. Основная информация – результаты контроля деталей по технологическому процессу сопровождающим маршрутным листом, в котором указана последовательность каждой операции сделанной рабочим, окончательное заключение о соответствии или несоответствии продукции поступившей на проверку.

Список использованных источников

1. Зоидо, К.Х. Искусственный интеллект: возможности применения для контроля качества готовой продукции в текстильной промышленности / К.Х. Зоидов,

А.А.Урунов, Б.А. Акрамов // Региональные проблемы преобразования экономики. 2021. - № 2 (124). - С. 12-22.

2. Романовская, А. Автоматизация контроля качества материалов от сырья до готовой продукции в процессе производств / А.Романовская // Переработка молока. 2021.- № 7 (261). - С. 30-31.

3. Шагаипов, Д.Р. Приложение на платформе "1С: "Учет и анализ рекламаций по качеству готовой продукции" / Д.Р. Шагаипов, А.Н. Карамышев, Е.В. Абросимова // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. 2017. - № 10 (101). - С. 27.

4. Макарова, Л.В. Методы многокритериальной оптимизации при оценке уровня качества продукции строительного назначения / Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, К.С. Полянскова.

УДК 004.9

Дьяков М.Ю., Середин К.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР МОТОР РЕДУКТОРА ПРИВОДА АППАРАТА С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Dyakov M. Y., Seredin K.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

AUTOMATED SELECTION MOTOR GEARBOX DRIVE DEVICE WITH MIXING DEVICES

Аннотация: представлена база данных, предназначенная для разработки модуля выбора стандартного планетарного мотор редуктора с перемешивающим устройством.

Ключевые слова: мотор редуктор, база данных

Abstract: presents a database intended for the development of a module for selecting a standard geared motor with a stirring device.

Keywords: gear motor, database.

Редуктор – механизм, изменяющий крутящий момент и мощность двигателя, присутствует практически в любой машине и станке.

В технологических аппаратах применяется мотор-редуктор представляющий собой совмещение в одном механизме электродвигателя и редуктора.

Правильный выбор мотор-редуктора в значительной степени определяет эксплуатационные затраты технического оборудования, например аппаратов с перемешивающим устройством.

На кафедре КИСМ ТГТУ разрабатывается своя учебно-промышленная система для расчета и конструирования химического оборудования.

Одним из блоков этой системы является база типовых элементов, таких как опоры, фланцы и др.

Для планетарных мотор редукторов была разработана база данных типовых мотор-редукторов.

Существуют следующие типы мотор – редукторов червячные цилиндрические; планетарные; волновые.

В данной базе данных рассматриваются планетарные мотор-редукторы

Структура разработанной базы мотор-редукторов представлена на рисунке 1

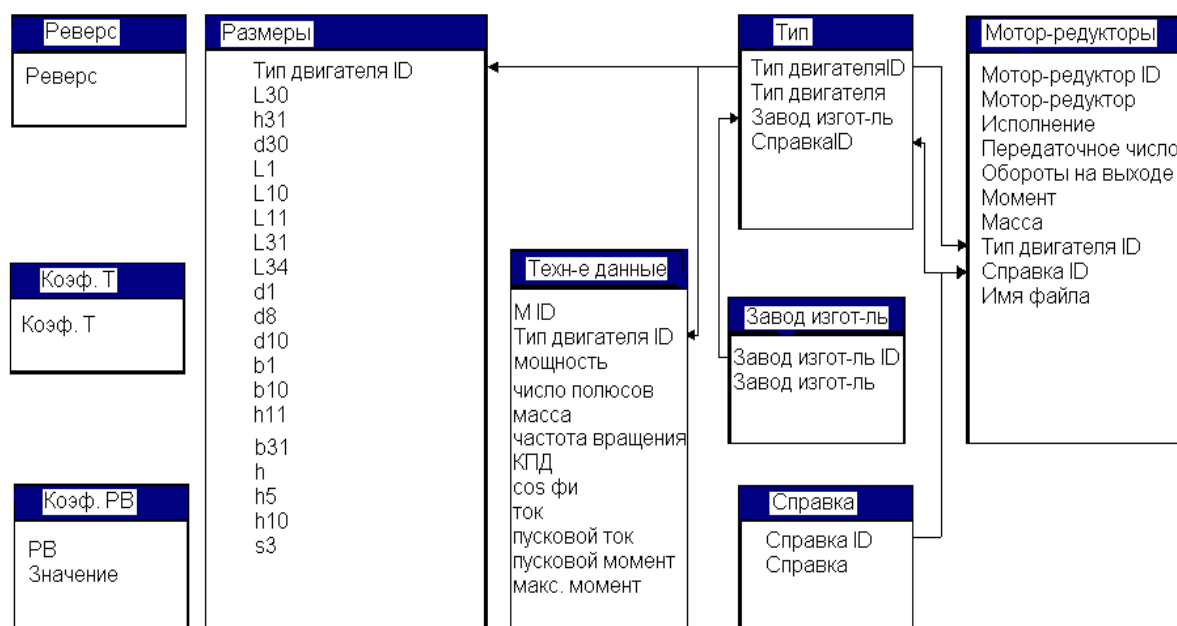


Рис. 1. Структура базы мотор-редукторов

База данных состоит из 9 таблиц. Основной таблицей является таблица под названием Мотор – редукторы (рисунок 2). Ключевое поле Мотор-редуктор ID (тип данных – счетчик) позволяет легко и быстро связывать эту таблицу с остальными

Motor_red : таблица										
Mot_red	Mot_red	Ispolnenie	Pered	Ob_wix	Moment	Massa	TipID	SprID	fail	
1	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 7,5 / 250	ВК, Ф-2П	5,74	250	278	150	39	5	1М-10.dwf	
2	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 7,5 / 250	ВК, Ф-2П	5,74	250	278	200	48	5	1М-10.dwf	
3	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 5,5 / 250	ВК, Ф-2П	5,74	250	205	125	40	5	1М-10.dwf	
4	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 5,5 / 250	ВК, Ф-2П	5,74	250	205	175	41	5	1М-10.dwf	
5	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 3,0 / 250	ВК, Ф-2П	5,74	250	110	105	42	5	1М-10.dwf	
6	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 3,0 / 250	ВК, Ф-2П	5,74	250	110	145	43	5	1М-10.dwf	
7	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 5,5 / 170	ВК, Ф-2П	5,74	170	290	150	44	5	1М-10.dwf	
8	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 5,5 / 170	ВК, Ф-2П	5,74	170	290	200	49	5	1М-10.dwf	
9	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 3,0 / 170	ВК, Ф-2П	5,74	170	160	125	45	5	1М-10.dwf	
10	МПО - 1М - 10 - 5,74 - 3,0 / 170	ВК, Ф-2П	5,74	170	160	175	46	5	1М-10.dwf	
11	МПО - 1М - 10 - 7,34 - 5,5 / 195	ВК, Ф-2П	7,34	195	260	125	41	5	1М-10.dwf	
13	МПО - 1М - 10 - 7,34 - 3,0 / 195	ВК, Ф-2П	7,34	195	140	105	42	5	1М-10.dwf	
14	МПО - 1М - 10 - 7,34 - 3,0 / 195	ВК, Ф-2П	7,34	195	140	145	43	5	1М-10.dwf	
15	МПО - 1М - 10 - 7,34 - 3,0 / 130	ВК, Ф-2П	7,34	130	210	125	45	5	1М-10.dwf	
16	МПО - 1М - 10 - 7,34 - 3,0 / 130	ВК, Ф-2П	7,34	130	210	175	46	5	1М-10.dwf	
17	МРВО2 - 0,75 / 355	ВК	4	355	20	20	50	4	MRV.dwf	
18	МРВО2 - 0,75 / 355	ВК	4	355	20	27	51	4	MRV.dwf	
19	МРВО2 - 0,75 / 280	ВК	5,14	280	25	20	50	4	MRV.dwf	
20	МРВО2 - 0,75 / 280	ВК	5,14	280	25	27	51	4	MRV.dwf	
21	МРВО2 - 0,75 / 180	ВК	7,7	180	38	20	50	4	MRV.dwf	
22	МРВО2 - 0,75 / 180	ВК	7,7	180	38	27	51	4	MRV.dwf	
23	МРВО2 - 0,25 / 85	ВК	16	85	27	12	52	4	MRV.dwf	
24	МРВО2 - 0,25 / 85	ВК	16	85	27	25	53	4	MRV.dwf	

Рис.2. Основная таблица мотор – редукторов

Типы планетарных мотор-редукторов:

Мотор-редуктор тип МПО - предназначены для приводов перемешивающих устройств для химической, медицинской, микробиологической и других отраслей

промышленности. Также мотор-редукторы планетарные МПО используются для приводов машин общего назначения

Мотор-редуктор тип МП - относятся к мотор-редукторам специального назначения и применяются для комплектования оборудования химического машиностроения. Вращение вала возможно в любую сторону.

Мотор-редуктор тип МР - используются для продолжительного режима работы в качестве приводов различных аппаратов химической промышленности

Мотор-редуктор тип МРВ - предназначены для комплектации малогабаритного оборудования

Приводы ПЭМ - устройства, которые применяются для поворота арматуры на один или более оборотов.

Список использованных источников

1. Мокрозуб, В.Г. База данных стандартных и типовых элементов технических объектов / В.Г. Мокрозуб, В.А. Немтинов, С.В. Морозов, А.С. Коновалова А.С. // Радиотехника. 2010. – № 12. – С. 29-32.

2. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуальная автоматизированная информационная система проектирования химического оборудования / В.Г. Мокрозуб, В.Е. Красильников, М.П. Мариковская / Системы управления и информационные технологии. 2007. № 4-2 (30). С. 264-267.

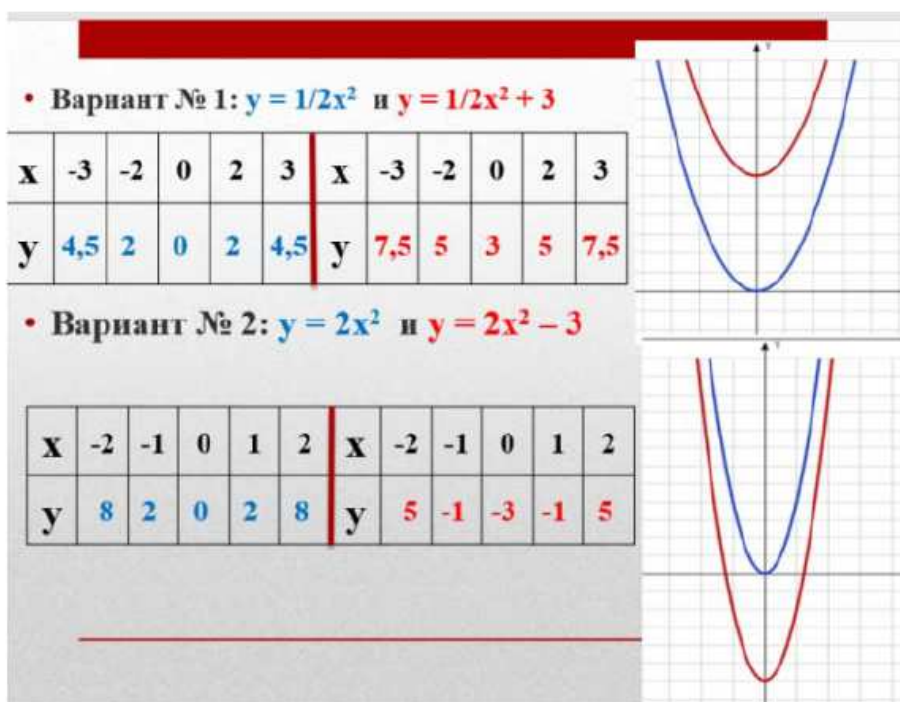
3. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете // САПР и графика. 2015. – № 1 (219). – С. 38-39.

4. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуализация механических расчетов в виртуальном кабинете «Конструирование технологического оборудования» / В.Г.Мокрозуб // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2014. – № 2. – С. 34-40.

5. Mokrozub, V.G Procedural model for designing multiproduct chemical plants / V.G. Mokrozub, V.A. Nemtinov, A.V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. 2017. – Т. 53. – № 5-6. – С. 326-331.

Секция

ИНЖЕНЕРНАЯ ПЕДАГОГИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБУЧЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ



УДК 004.9

Мокрозуб В.Г., Молоткова Н.В., Мищенко Е.С., Меркушева К.А.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: mokrozubv@yandex.ru

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КОНТЕНТ В «ЦИФРОВОМ УНИВЕРСИТЕТЕ»

Mokrozub V.G., Molotkova N.V., Mishchenko E.S., Merkusheva K.A.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: : mokrozubv@yandex.ru

EDUCATIONAL CONTENT IN THE «DIGITAL UNIVERSITY»

Аннотация: представлено развитие виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в условиях «цифрового университета», заключающееся в его интеллектуализации.

Ключевые слова: цифровой университет, виртуальный кабинет, интеллектуальные системы.

Abstract: the development of the virtual cabinet «Design of technological equipment» in the conditions of a «digital university», consisting in its intellectualization, is presented.

Keywords: digital university, virtual office, intelligent systems.

В условиях «цифровой экономики», подготовка кадров должна осуществляться в «цифровых университетах» [1-3]. Традиционными направлениями развития цифрового университета являются: использование электронных площадок для размещения образовательного контента и управления процессом обучения, тренажерных комплексов с элементами виртуальной реальности, виртуальных кабинетов и лабораторий. При всей своей привлекательности эти направления не позволяют создавать «умный» контент, который понятен как человеку, так и информационным системам. В работе на примере обучения проектированию технических объектов рассматривается структура систем автоматизированного проектирования, базирующихся на онтологии предметной области, которая может быть использована как человеком для обучения, так и информационной системой для решения практических задач проектирования.

В настоящее время термин «учебная» САПР используется как синоним «упрощенная». Хотя должно быть наоборот. Учебная САПР – это промышленная система отягощенная элементами обучения собственно проектированию. Подобной системой может стать разрабатываемый в Тамбовском государственном техническом университете виртуальный кабинет «Конструирование технологического оборудования» [4].

Первоначальной целью создания виртуального кабинета было размещение в одном месте информационных материалов, необходимых студентам для выполнения курсового и дипломного проектирования химических предприятий. Соответственно этой цели была определена структура кабинета, рис. 1.

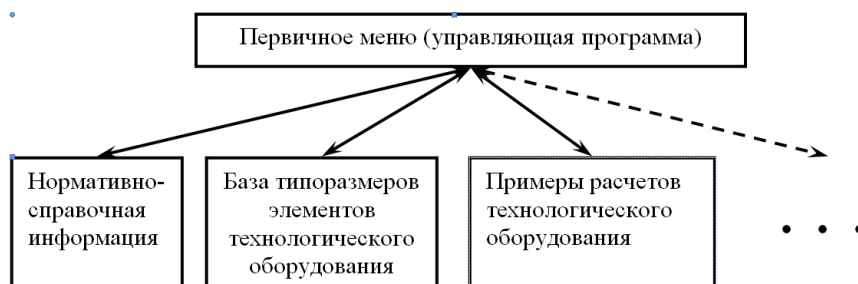


Рис. 1. Структура виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования»

В современных условиях дальнейшее развитие кабинета заключается в его интеллектуализации. Создание «умного» кабинета, структура которого представлена на рис.2, базируется на онтологии предметной области

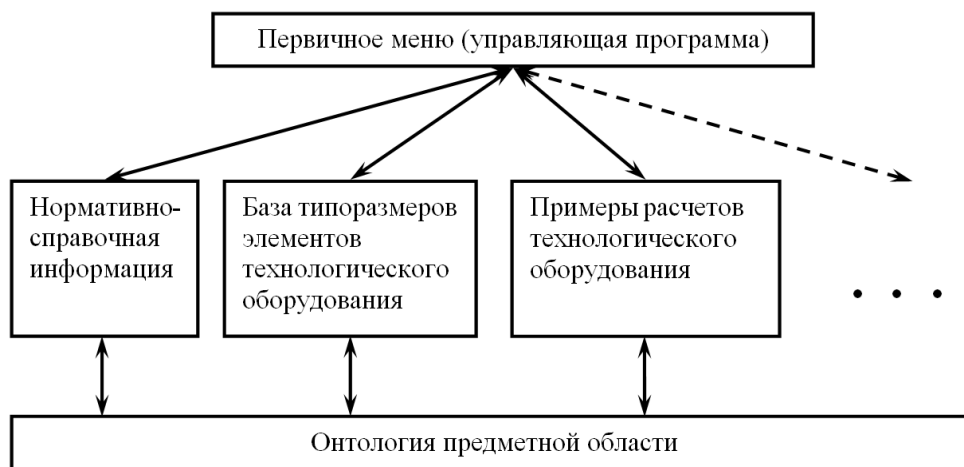


Рис. 2. Структура виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» с онтологией предметной области

На первом этапе предполагается разработка образовательного контента, предназначенного для обучения поддержки принятия решений при проектировании многоассортиментных химических производств.

Список использованных источников

1. Solovyev, A.N. Russian Engineering Teachers as an Important Part of IGIP. / A.N. Solovyev, V.M.Prikhodko, T. Yu, Polyakova, Z.S. Sazonova. // *Vyshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. No. 1 (219), pp. 38-45 (In Eng., abstract in Russ.)
2. Рудской, А.И. Пути снижения рисков при построении в России цифровой экономики. Образовательный аспект // *Высшее образование в России*. 2019. Т. 28. №2. С. 9-22. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2019-28-2-9-22>
3. Днепроvская, Н.В. Оценка готовности российского высшего образования к цифровой экономике / Н.В.Днепровская // *Экономическая статистика*.2018 . Т. 15. № 4. С.16–28.
4. Мокрозуб, В. Создание виртуального кабинета «Конструирование технологического оборудования» в Тамбовском государственном техническом университете / В. Мокрозуб // *САПР и графика*. 2015. № 1 (219). С. 38-39.

УДК 005.7(07)

Фролова Т. А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: frolova2000@gmail.com

ЭФФЕКТИВНЫЙ ПРОЕКТНЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Frolova T. A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: frolova2000@gmail.com

EFFECTIVE PROJECT MANAGEMENT FOR MEDICAL EQUIPMENT

Аннотация: Посвящено вопросам применения методологии проектного менеджмента для управления проектами в области медицинского оборудования. Изложены основные принципы и методы матричного стиля управления проектом.

Ключевые слова: Управление проектами, медицинское оборудование, матричное управление.

Abstract. Dedicated to the application of project management methodology for project management in the field of medical equipment. The basic principles and methods of the matrix style of project management are stated.

Keywords: Project management, medical equipment, matrix management.

Эффективное управление проектами особенно актуально при внедрении и разработке нового медицинского оборудования [1-3]. При его разработке необходимы специалисты разных областей. При этом должны строго соблюдаться жесткие требования. Тема управления рисками, связанная с медицинскими устройствами, программным обеспечением выходит сейчас на первый план. Мы можем видеть, например, что при разработке нового продукта медицинского устройства существует множество правил и стандартов системы менеджмента качества, которые определяют и детализируют требования к схемам, разработке, аутентификации и валидации продукта до его передачи в производство. Это достигается за счет реализации контроля самого производства, проверки, хранения, отгрузки и обслуживания продукта. Необходимо наблюдение за продуктом и его использованием на рынке наряду с управлением рисками на протяжении всего жизненного цикла продукта.

Для медицинских устройств объем проекта обычно относительно велик и, следовательно, требует нескольких каналов связи в нескольких функциональных областях. Компания также должна создать внутреннюю систему качества, которая обеспечивает соблюдение проектных средств контроля и применяет принципы управления рисками.

Участвующий персонал включает корпоративных администраторов, директоров и руководителей различных отделов и групп, связанных с реализацией и контролем проекта.

Матричный стиль управления медицинским проектом, при котором различные функциональные области задействованы в проекте при помощи поддержания постоянного взаимодействия между различными отделами, участвующими в проекте, является эффективным подходом. В отличие от традиционного стиля управления сверху вниз, матричное управление предполагает межфункциональное взаимодействие, при котором полномочия и ответственность распределяются между участвующими отделами (рисунок 1).



Рис. 1. Матричный тип управления проектами

Ключевой частью матричного управления является присутствие членов команды, уполномоченных принимать решения. При подходе к управлению сверху вниз административные руководители компании или отдела контролируют проект и требуют от руководителей проекта ответственности за его прогресс. Затем менеджеры проектов наблюдают за функциональными менеджерами в участвующих отделах, таких как проектирование, производство, финансы и маркетинг. Эти функциональные менеджеры, в свою очередь, делегируют ответственность назначенным ими работникам.

При матричном управлении администраторы и менеджеры по-прежнему контролируют и делегируют обязанности назначенному им персоналу отдела. Тем не менее, каналы сотрудничества также присутствуют, так что каждый отдел и группа, участвующие в проекте, полностью осведомлены о задачах и прогрессе друг друга. Эти каналы обеспечивают систему обратной связи между участниками проекта. Этот метод очень эффективен для информирования участников о каждой фазе проекта. Каналы связи в матричном подходе поддерживают функциональные нисходящие каналы, а также восходящие каналы, но добавляют и каналы, связующие все отделы между собой.

При использовании стиля управления «сверху вниз» существует большая вероятность недопонимания общего содержания проекта. Чтобы минимизировать проблемы, каналы связи должны быть постоянными на протяжении всего проекта. Когда традиционный стиль управления сверху вниз применяется к типичной организации, занимающейся разработкой медицинских устройств, неизбежно возникают конфликты по поводу относительных приоритетов проектов в конкурентной борьбе за ресурсы. Сбой в каком-либо одном канале может задержать или даже остановить проект. Напротив, мат-

ричный стиль, который обеспечивает открытые каналы связи и взаимодействие между всеми отделами, обеспечивает большой вклад и обратную связь от всех отделов.

Матричный стиль может максимизировать сильные стороны и свести к минимуму слабые стороны как проектной, так и функциональной структуры, поскольку цели сбалансированы менеджером проекта. Члены команды более склонны вносить значимый вклад в общий проект в синергетической манере. Более активное участие и сотрудничество приводят к большему разнообразию и творчеству. В идеале члены проектной группы должны работать над проектом полный рабочий день, а менеджеры и администраторы проекта вносят свой вклад в процесс планирования. Этап планирования может длиться от нескольких недель до нескольких месяцев, в зависимости от объема проекта и назначенного графика, как указано в плане проекта. Матричный стиль обеспечивает максимальный вклад в проект и предоставляет несколько каналов связи для быстрого разрешения конфликтов.

Совместное управление производством является ключом к правильному функционированию матричного стиля управления и имеет важное значение для управления проектом медицинского устройства.

Список использованных источников

1. Фролов, С.В., Фролова, М.С., Потлов, А.Ю., Рациональный выбор медицинской техники для лечебно-профилактического учреждения на основе системы поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. – 2014. – №3. – С.35-45.
2. Фролов, С.В., Маковеев, С.Н., Семенова, С.В., Фареа, С.Г. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем // Вестник ТГТУ. 2010. Т.16. №2. С.266-272.
3. Фролова, М.С., Фролов, С.В. Оптимальный выбор изделия медицинской техники с использованием информационных систем в здравоохранении // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19(3). – С. 553-561.

УДК 378:013:005.963.1

Соловьев А. Н., Приходько В. М.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ), Россия, г. Москва
e-mail: soloviev@pre-admission.madi.ru

СОЦИАЛИЗАЦИЯ СТУДЕНТОВ В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Solovyev A.N., Prikhodko V.M.

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Russia, Moscow
e-mail: soloviev@pre-admission.madi.ru

SOCIALIZATION OF STUDENTS IN THE ERA OF DIGITALIZATION

Аннотация: В работе рассмотрены некоторые актуальные проблемы подготовки и переподготовки преподавателей технических вузов. В ретроспективном аспекте обращено внимание на роль в этой области Международного общества по инженерной педагогике IGIP. Обсуждаются различные точки зрения на пути совершенствования выполнения преподавателями трех функций: педагога, исследователя, воспитателя в эпоху активного внедрения информационно-коммуникационных технологий. Выделены как трудности проведения практик (важнейшего элемента обучения студентов технических вузов), так и сложности социализации учащихся (то есть выполнения воспитательной миссии высшего образования) во время массового перехода на дистанционную форму обучения.

Ключевые слова: три миссии высшего образования, инженерная педагогика, дистанционное обучение.

Abstract. In the paper, authors consider some actual problems of training and retraining of teachers of technical universities. In the retrospective aspect, attention drawn to the role of the International Society for Engineering Pedagogy IGIP in this area. Various points of view discussed on the way to improve the performance of three teachers' functions in higher education: teaching, scientific research, mentoring in the era of active introduction of information and communication technologies. Both the difficulties of conducting practices (the most important element of teaching students in technical universities) and the difficulties of socializing students (that is, fulfilling the mentor mission of higher education) during the mass transition to distance learning highlighted

Keywords: three missions of higher education, engineering pedagogy, distance learning.

Введение

Имея в виду три миссии высшего образования: образовательную, научную, социальную, можно сказать, что преподавателю вуза приходится выполнять функции педагога, исследователя, воспитателя. Выделение последней из трех названных функций

традиционно для российской высшей школы, но надо признать, что любой Учитель в процессе общения с учениками невольно выполняет миссию воспитателя. Как правило, в индивидуальный план преподавателя вуза естественным образом включается, кроме перечисленного, организационная деятельность. В последнее время осуществление трансформаций, острая необходимость которых обусловлена стремительным переходом к образованию 4.0, осложнилось введением ограничений, связанных с пандемией КОВИД-19. В этих условиях руководство систем высшего образования всех уровней и всех стран, работая в условиях неопределенности, сталкивается с необходимостью проведения глобальных реформ. При этом и каждый преподаватель вуза понимает необходимость изменения характера собственной профессиональной деятельности. В области дидактики речь идет о поиске наиболее эффективных в новых условиях методов и средств обучения, а в научной деятельности для работников инженерных вузов, по видимому, важно следовать в русле «четвертой промышленной революции». Внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в образовательный процесс, которое началось еще в «допандемийный» период, стало насущной необходимостью в период введения мероприятий по борьбе с новой коронавирусной инфекцией. Новые средства обучения требуют создания новых методик обучения, выработки адекватных методов контроля и оценки. Особенно это касается тех направлений высшего образования, где накопление практического опыта играет решающую роль при подготовке специалистов. Можно с уверенностью признать, что вышесказанное относится ко всем направлениям подготовки инженеров. Отдельного внимания, как мы увидим ниже по тексту, заслуживает реализация социальной функции высшего образования в условиях перехода на дистанционную форму обучения. Таким образом, для успешного выполнения первой миссии высшего образования на передний план выходит работа по исследованию новых функциональных обязанностей педагогов, выработка новых дидактических схем и формирование навыков их использования как у опытных, так и у начинающих преподавателей.

Мировой опыт подготовки преподавателей высшей школы

Необходимость специальной подготовки преподавателей профессиональных (а не общеобразовательных) учебных заведений была осознана еще в 19 веке. Например, Американское общество по инженерному образованию ASEE с гордостью отсчитывает свою «родословную» с 1893 года. Первоначально оно называлось «Обществом содействия инженерному образованию (SPEE)». После второй мировой войны было распущено SPEE и в 1946 году образовалось ASEE. В настоящее время это крупнейшее в мире общество по инженерному образованию, которое имеет штаб-квартиру в Вашингтоне, округ Колумбия, руководит работой по выполнению заданий, финансируемых за счет десятков правительственных и частных грантов, ежегодно проводит международные конференции, с большим числом секций, где обсуждаются всевозможные уровни подготовки инженеров различных отраслей деятельности от довузовской до послевузовской. Характерной особенностью декларируемой общественной политики США является привлечение представителей национальных меньшинств и женщин в высшее

образование. ASEE считает приоритетом своей деятельности распространение этого принципа на инженерные профессии.

Многие авторы [2, 3] считают, что следующим историческим этапом стало возникновение так называемой (немецкоязычной) «Дрезденской школы инженерной педагогики» в 1951 году.

Как еще один этап развития науки о дидактике инженерного образования можно отметить создание в 1972 году двух обществ по инженерному образованию. Родоначальником одного из них, Международного общества по инженерной педагогике IGIP, был профессор Клагенфуртского университета (Австрия) Адольф Мелецинек [1]. В первые десятилетия деятельности общества несмотря на то, что его рабочим языком был немецкий, в орбиту его деятельности постепенно вовлекались многие европейские страны, в том числе и Россия. Цель работы IGIP – педагогическая подготовка преподавателей технических университетов - представляет интерес в рамках данного исследования. Второе общество, «Европейское общество по инженерному образованию SEFI», объединяло франкоязычные страны. Постепенно рабочим языком конференций обоих обществ стал английский, а в 2006 году назрела необходимость создать Международную ассоциацию обществ по инженерному образованию IFEES, которая объединяет в настоящее время свыше 85 организаций из 30 стран. Активную роль при образовании IFEES сыграло руководство IGIP, ASEE.

Деятельность IGIP на современном этапе.

Базовая для IGIP, «Клагенфуртская школа» инженерной педагогики изначально считала задачами подготовки и переподготовки преподавателей инженерных вузов первые пять из шести, перечисленных ниже модулей учебного плана под названием Curriculum IGIP [1].

- 1) Проектирование процессов преподавания и обучения в инженерном образовании (ИО),
- 2) Коммуникация – Проектирование коммуникационных процессов в преподавании и обучении,
- 3) Дидактические средства в ИО,
- 4) Контроль и оценка результатов обучения в ИО,
- 5) Лабораторная дидактика в ИО,
- 6) Обучение на основе проектов (PBL) в ИО.

С течением времени добавился шестой пункт о проектном обучении, а второй пункт с каждым годом приобретает новый смысл [4]. Естественно, в этом модуле речь идет о бурном развитии ИКТ и внедрении этих технологий в высшей школе. Последняя по времени версия учебного плана опубликована в 2020 году (перевод на русский язык в [5]).

С нашей точки зрения, достижением последних двух лет стала определенная либерализация работы IGIP. А именно, допустимость видоизменения этого плана при подготовке и переподготовке преподавателей технических дисциплин с учетом особенностей высшей инженерной школы каждой страны. Например, особенностью проектирования учебных планов в высшей школе России является необходимость следования

Федеральным государственным образовательным стандартам (ФГОС) последнего поколения. Для Германии важно учитывать разницу между высшей (технической) школой и университетом. Особенностью технологического университета INACAP в Чили [6] является приверженность внедрению нейролингвистических методов обучения (которые признаются не всеми учеными).

Общей для всех стран насущной необходимостью стало пристальное внимание (при обучении и переподготовке преподавателей высшей школы) к проектированию использования ИКТ в учебном процессе. Обсуждение проблем, связанных с использованием ИКТ, происходит на конференциях, посвященных высшему образованию, в соответствующих публикациях (например, [7]). Мы, со своей стороны, предлагаем обратить внимание не только на дидактическую подготовку преподавателей, но и на выполнение ими социально-воспитательной роли наставника в современных условиях.

Анализ опыта использования ИКТ

Не вызывает сомнения, что начинать решение этих проблем необходимо с повышения «компьютерной грамотности» преподавателей. Недостаточно высокий уровень этого показателя во многом связан, по нашему мнению, с возрастной структурой профессорско-преподавательского состава (ППС) во многих вузах. В работе [8] мы находим данные, что в 2014 году из общего числа 271,5 тыс. преподавателей российских вузов 27,7% были в возрасте старше 60 лет. В свою очередь доля профессоров в этой же возрастной категории составляла годом ранее 63,3%. Мы не приводим здесь данные о среднем возрасте ППС, имеющиеся в цитируемой работе, но имеем возможность экстраполировать таблицы, приведенных данных по годам: прослеживается четкая тенденция роста доли преподавателей и профессоров старше 60 лет. Интерес представляет анализ самооценки уровня владения информационно-коммуникационными умениями преподавателей в период дистанционного обучения 2020 г. (по пятибалльной шкале), приведенная в виде таблицы в работе [9]. Эта таблица составлена на основе входного анкетирования слушателей курсов повышения квалификации преподавателей Оренбургского государственного университета (ОГУ). Самые низкие показатели (3,4 – 3,8) мы видим в строках, относящихся к использованию в образовательной деятельности ресурсов искусственного интеллекта, что вполне естественно. Близкий показатель (3,7) мы видим в строке средства синхронной и асинхронной интернет-коммуникации. Такое совпадение вызывает недоумение, так как в первом случае искусственный интеллект – это «удел» профессионалов, а коммуникация с помощью Интернета в наши дни практикуется на бытовом уровне. Самые высокие баллы (4,9) относятся к строке: «современные способы оценивания в условиях информационно-коммуникационных технологий (ведение электронных форм документации, в том числе электронного журнала и дневников обучающихся, выставление рейтингов и модулей)». Это объясняется, по видимому, наличием внедренной в вузе электронной системы документооборота. Приведем еще одну цитату из работы [9]: «Как правило, студенты в дистанционном взаимодействии отмечали быструю утомляемость, потерю связей с миром профессии, снижение внимания и интереса к содержанию учебных кейсов и презентаций, утрату представления о динамике изучаемых процессов».

Выполнение социальной функции высшего образования в условиях дистанционного обучения

Авторы имеют многолетний опыт наблюдения за формированием личности студента в процессе его обучения в высшей школе и считают результат этого процесса в целом положительным. Как минимум, за годы обучения в вузе у молодых людей формируются общекультурные компетенции. Сопоставим наше мнение с точкой зрения студентов на этот процесс в эпоху вынужденного перехода на дистанционное обучение. Итоги массового изучения мнений студентов различных вузов о дистанционном обучении подробно изложены в работе [10]. Мы останавливаемся в данной работе лишь на мнении студентов ОГУ (см. выше) и Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) [11]. Во многом негативное отношение к дистанционной форме обучения высказывали студенты МАДИ, социологические опросы которых были проведены весной и осенью 2020 года, то есть сразу после снятия тотального режима самоизоляции и повторного введения его в октябре 2020 года [11]. В их ответах на вопросы присутствует отчетливое понимание необходимости практического обучения в очном режиме. Кроме того, они с сожалением констатировали отсутствие качественного Интернета в некоторых регионах, куда были вынуждены вернуться иногородние студенты во время пандемии (впрочем, этот факт нашел широкое отражение также и в средствах массовой информации). Еще одно мнение, высказанное студентами [11]: «нужно привыкать к особенностям коммуникации при помощи интернета без личных встреч», касается одного из аспектов социализации обучающихся в вузе – общения в студенческой среде.

По мнению некоторых исследователей, так называемая асинхронная модель обучения, когда контакт между обучающим и обучаемым осуществляется с задержкой во времени может получить дальнейшее развитие при переходе на дистанционную форму обучения. Для того чтобы в рамках этой модели стало возможно выполнение социально-воспитательной функции образования, необходимо, как минимум, наладить работу в команде. Это может быть реализовано с помощью голосовых чатов, видеоконференций и вебинаров, других средств ИКТ, предназначенных для организации встреч в виртуальном пространстве, обмена мнениями с коллегами-студентами и преподавателями.

Выводы

Мы продолжили обсуждение начатых в работе [4] наиболее важных, с нашей точки зрения, вопросов, связанных с подготовкой и переподготовкой преподавателей технических дисциплин. Как уже отмечалось выше, решение подобных задач - прерогатива Международного общества по инженерной педагогике IGIP, и широко обсуждается его членами [6]. Обратимся к новому учебному плану Curriculum IGIP. В работе [5] мы представили полный текст этого плана, переведенный на русский язык, а в работе [12] обосновали свою точку зрения на особенности реализации первых двух модулей этого плана в условиях Российской Федерации.

Современная версия учебного плана содержит еще пять модулей: Модуль М3 «Разработка академических курсов», Модуль М4 «Теория и практика разработки учебной программы: определение целей и содержания обучения (основанных на учебных дос-

тижениях)», Модуль М5 «Дидактические пути от теории к практике – стажировки, выполнение исследовательских проектов с различными партнерами из рынка труда», Модуль М6 «Прикладные вопросы преподавания», Модуль М7 «Дополнительные блоки (по выбору)». Наиболее важным среди предлагаемых на выбор в М7 блоков мы естественно считаем «Цифровизацию». Названия модулей М3 и М4, на первый взгляд, в значительной степени традиционны, так как отражают общепринятые задачи дидактики. Обновлена лишь формулировка целей обучения: необходимо использовать понятие «учебные достижения». Мы считаем, что изложенное выше позволяет считать важным сохранение в учебных программах специальностей понятия: «общекультурных компетенций», с указанием на то, с помощью каких средств в современных условиях можно их формировать. При изучении модулей М5 и М6 необходимо снабдить будущих преподавателей примерами реализации практической подготовки и взаимодействия с промышленными партнерами в условиях широкого применения ИКТ. В этом смысле информация, излагаемая при освоении модуля М7, должна служить дополнением ко всем предыдущим модулям.

Таким образом, данная работа, в определенном смысле может рассматриваться как продолжение цикла работ [4, 5, 12].

Статья написана в рамках реализации в МАДИ инновационного образовательного проекта «Эффективная модель подготовки преподавателей технических дисциплин с целью получения сертификата «Международный преподаватель инженерного вуза – ING-PAED IGIP» (приказ Минобрнауки России от 25 декабря 2020 г. № 1580).

Список использованных источников

1. Приходько, В.М., Полякова, Т.Ю. IGIP. Международное общество по инженерной педагогике: прошлое, настоящее, будущее. М.: Техполиграфцентр, 2015. 143 с.
2. Кубрушко, П.Ф., Назарова, Л.И., Еприкян, Д.О. Международное общество по инженерной педагогике: история и тенденции развития // *Агроинженерия*. 2021. № 3 (103). С. 80-84. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-80-84
3. Gormaz-Lobos, D., Galarce-Miranda, C., Hortsch, H., Kersten, S., *The Needs-Oriented Approach of the Dresden School of Engineering Pedagogy and Education. Beiträge der 48. IGIP Konferenz zur Ingenieurpädagogik im September 2019 in Bangkok, Thailand.*
4. Соловьев, А.Н., Приходько, В.М., Петрова, Л.Г., Макаренко, Е.И., Подготовка преподавателей технических дисциплин к получению звания «Международный инженер-педагог» (ING-PAED IGIP) на современном этапе. Материалы XII Международной научно-технической конференции Ассоциации технологов-машиностроителей. Тамбов, 6 – 9 октября 2020 г. Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. ISBN 978-5-8265-2269-1. С. 186-191.
5. Соловьев, А.Н., Приходько, В.М., Петрова, Л.Г., Макаренко, Е.И. Новый учебный план IGIP для повышения квалификации преподавателей инженерных вузов // *Высшее образование в России*. 2021. Т. 30. № 1. С. 49-59. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-1-49-59

6. Gormaz-Lobos, D., Galarce-Miranda, C., Hortsch, H. (2021). Evaluation of Teacher Training Needs in Engineering Pedagogy. *Vysshee obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. Vol. 30, no. 8-9, pp. 93-103, doi: 10.31992/0869-3617-2021-30-8-9-93-103.

7. Куадраду, Ж.К., Похолков, Ю.П., Зайцева, К.К. АТЕНА: Содействие развитию высших учебных заведений в цифровую эпоху // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 1. С. 125-131. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-1-125-131.

8. Пугач, В.Ф. Возраст преподавателей в российских вузах: в чем проблема? // Высшее образование в России. 201. № 208 (1). С. 47–55.

9. Кирьякова, А.В., Каргапольцева, Н.А., Белоновская, И.Д., Дужников, С.А. Университет как среда инновационных взаимодействий // Высшее образование в России. 2021. Т. 30. № 8-9. С. 115-124. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-8-9-115-124.

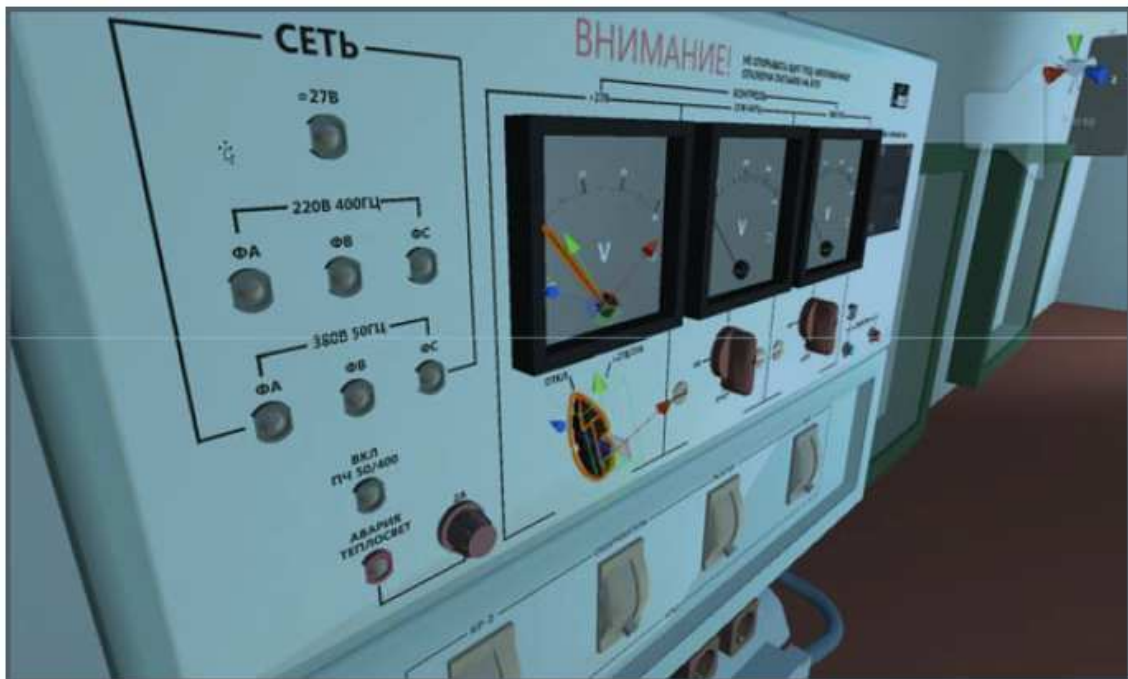
10. Алешковский, И.А., Гаспаришвили, А.Т., Крухмалева, О.В., Нарбут, Н.П., Савина, Н.Е. Студенты вузов России о дистанционном обучении: оценка и возможности // Высшее образование в России. 2020. Т. 29. № 10. С. 86-100. DOI: <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-10-86-100>

11. Макаренко, Е.И., Демин, П.Е., Тюков, О.А., Некоторые итоги социальной адаптации к пандемии будущих инженеров (представления студентов) // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. № 4(26) (2020). ISSN 2409-7217 (Online). <https://www.adimadi.ru/madi/issue/view/26>.

12. Solovyev, A.N., Petrova, L.G., Prikhodko, V.M., Practical Implementation of the International Society for Engineering Pedagogy Curriculum in Russia. International Conference on Agricultural Science and Engineering (ASAE 2021).

Секция

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ



УДК 66.011

Дмитриев О.С., Барсуков А.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов,
e-mail: phys@tstu.ru

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОТВЕРЖДЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Dmitriev O.S., Barsukov A.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov,
e-mail: phys@tstu.ru

NEURAL NETWORK MODELING OF POLYMER COMPOSITES CURING KINETICS

Аннотация: Рассматривается возможность построения модели кинетики процесса отверждения полимерных композитов на основе применения искусственных нейронных сетей. Получена зависимость кинетической функции от степени отверждения.

Ключевые слова: кинетические характеристика, полимерные композиты, нейронные сети.

Abstract: The possibility of modeling the kinetic characteristics of the polymer composites curing process based on the use of artificial neural networks is considered. The dependence of the kinetic function on the degree of curing has been obtained.

Keywords: kinetic characteristics, polymer composites, neural networks.

На современном этапе развития материаловедения перспективными конструкционными материалами являются полимерные композиты (ПК). Качество изделий из полимерных композитов в основном формируется на этапе отверждения и определяется температурно-временным режимом. Для проектирования оптимальных температурно-временных режимов необходимо построение математической модели отверждения, идентификация параметров этой модели и решение оптимизационной задачи [1].

Параметрами математической модели процесса отверждения полимерных композитов, наряду с теплофизическими и реологическими, являются кинетические характеристики (КХ). Определение КХ предусматривает сбор и обработку большого объема экспериментальной информации. Кроме того, полученные кинетические характеристики не всегда могут адекватно соответствовать модели, по причине погрешностей и неправильного её выбора. Поэтому необходимо произвести расчет КХ по различным моделям, сравнить результаты и выбрать одну из них. При таком подходе необходимо автоматизировать процесс принятия решения по выбору модели кинетики и алгоритм расчета КХ, который обеспечит минимальную погрешность искомым параметрам.

Исходными данными для определения кинетических характеристик являются мощность тепловыделений, полный тепловой эффект и среднеинтегральная температура, которые определены косвенно на основе экспериментально измеренных во времени температуры, толщины, теплового потока, теплоемкости, теплопроводности и производной температуры. Эти величины также определяются с использованием некоторых расчетных формул, градуировочных характеристик, уравнений и не являются результатом прямых измерений. Поэтому оценки погрешности кинетических характеристик и выбор соответствующей модели кинетики удобнее проводить на основе нейросетевого моделирования.

При прогнозировании кинетической функции был использован массив экспериментальных и расчетной информации, в котором содержатся зависимости кинетической функции от степени отверждения. Анализ данных проводился методом нейросетевого моделирования, по трем различным типам нейронных сетей (НС): метод Левенберга-Марквардта, метод Байесовой регуляризации и масштабированный метод сопряженных градиентов. Нейронная сеть строилась с помощью программного комплекса MATLAB с подключенным плагином NEURON FITTING TOOLS. Для построения нейронной сети задавался целевой вектор, которым являлись значения экспериментально полученной кинетической функции процесса отверждения ПК.

Результатом данной работы является нейронная сеть прогнозирующая процесс изменения кинетической функции полимерного композита при его отверждении. Это подтвердило актуальность и применимость использования НС, как одного из инструментов при моделировании процесса отверждения ПК. Однако нейронная сеть требует определения эмпирических параметров моделей кинетики на основе калориметрических измерений. Таким образом, актуальна дальнейшая разработка системы обработки экспериментальных данных на основе НС. Данная система позволит определять в автоматическом режиме все необходимые кинетические характеристики процесса отверждения только на основе экспериментальных данных, без выполнения промежуточных вычислений и подбора подходящих аппроксимирующих моделей.

Список использованных источников

1. Дмитриев, О.С. Оптимизация режима отверждения изделий из полимерных композитов на основе клеевых препрегов / О.С. Дмитриев, В.Н. Кириллов, С.В. Мищенко, С.О. Дмитриев // Клеи, герметики, технологии. – 2009. – № 5. – С. 17-24.

УДК 544.174.2

Дегтярев А.А., Ростова Д.П., Тришина А.В., Бакунин Н.С.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: ad.dycost@gmail.com

**ТЕСТИРОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ
ДЛЯ РАСЧЕТА СПЕКТРА ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕРЕХОДОВ В АЗОКРАСИТЕЛЯХ
НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛТОГО СВЕТОПРОЧНОГО 2 «3»**

Degtyarev A.A., Rostova D.P., Trishina A.V., Bakunin N.S.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: ad.dycost@gmail.com

**TESTING OF DENSITY FUNCTIONAL THEORY METHODS FOR
CALCULATING THE SPECTRUM OF ELECTRON TRANSITIONS IN AZO DYES
ON THE EXAMPLE OF A YELLOW 3**

Аннотация: Приведено сравнение точности расчета длины волны первого электронного перехода в молекуле пигмента желтого светопрочного 2 «3» с использованием различных функционалов. Наибольшую точность показали глобальные гибридные функционалы.

Ключевые слова: DFT, желтый светопрочный 2 «3», молекулярное моделирование, электронные переходы, оптический спектр.

Abstract. Comparison of the accuracy of calculating the wavelength of the first transition of electron in the molecule of pigment yellow 3 with using different functionals is presented. Global hybrid functionals showed the highest accuracy.

Keywords: DFT, yellow 3, molecular modeling, transitions of electron, optical spectrum.

Характеристики электронных переходов молекулы играют определяющую роль в формировании оптических свойств вещества. Для химических соединений, применяемых в качестве пигментов либо красителей эти свойства особенно важны, т. к. будут определять его колористические характеристики, такие как тон, яркость, насыщенность и т. д.

Для моделирования спектров электронных переходов применяют такие методы как теория функционала плотности с зависимостью от времени (TD-DFT) [1] или постхартрифовские методы (CIS, EOM-CCSD, *vt*-PNO-EOM-CCSD, STEOM-DLPNO-CCSD и т. д.) [2]. Первые имеют малую вычислительную стоимость, но точность расчета заранее предсказать нельзя, вторые имеют хорошую точность, но достаточно требовательны к вычислительным ресурсам.

Целью данной работы было сравнить точность расчета длины волны электронного перехода в молекуле пигмента желтого светопрочного 2 «З» (P. yellow 3) с использованием различных функционалов. В качестве сравнения был использован высокоточный метод STEOM-DLPNO-CCSD, средняя погрешность которого имеет значение 0.1 эВ (~15 нм, для красителей ряда дипиррометенов) [3].

В качестве тестируемых функционалов использовались по несколько популярных представителей из всех классов («чистые» функционалы: GGA, meta-GGA; глобальные гибридные: GGA, meta-GGA; пространственно разделенные гибридные (RS); даблгибридные и пространственно разделенные гибридные даблгибридные), результаты приведены в табл. 1.

В качестве базисного набора использовался трехэкспоненциальный cc-pVDZ [4], все расчеты проводились в пакете ORCA 5 [5].

Таблица 1. Длина волны первого электронного перехода в молекуле пигмента желтого светопрочного 2 «З» рассчитанная различными методами.

Функционал	Длина волны перехода, нм	Функционал	Длина волны перехода, нм
GGA		Даблгибридные	
PBE	595.9	B2PLYP	387.6
Meta-GGA		mPW2PLYP	
M06-L	574.7	B2GP-PLYP	363.8
B97M-D4	556.9	B2K-PLYP	353.5
R ² SCAN	582.6	B2T-PLYP	370.5
Гибридные GGA		PBE0-DH	
B3LYP	456.3	DSD-PBEP86	460.7
PBE0	421	SCS/SOS-B2PLYP21	338.5
OLYP	515.8	Пространственно-разделенные даблгибридные	
XLYP	445.1	wB2PLYP	325.7
B97	455.2	RSX-0DH	309.0
Пространственно-разделенные гибридные		wB88PP86	342.1
ωB97	314.7	wPBEP86	344.7
ωB97x	322.3	wB97X-2	410.4
LC-PBE	308.7	SCS/SOS-wB2PLYP	335.7
CAM-B3LYP	346.4	SCS-PBE-QIDH	357.9
Гибридные meta-GGA		SOS-PBE-QIDH	
M06	420.7	SCS-B2GP-PLYP21	343.7
M06-2X	341.0	SOS-B2GP-PLYP21	349.1
TPSSh	509.1	SOS-RSX-QIDH	358.3
TPSS0	412.3		
Постхартрифовские методы			
STEOM-DLPNO-CCSD		387.9	

Как видно из таблицы 1, «чистые» DFT функционалы имеют достаточно большую погрешность и неприменимы для расчета оптических спектров азокрасителей. Из гибридных функционалов точность в пределах ~30 нм показывают только PBE0, M06 и TPSS0. Глобальные даблгибридные в целом показывают наиболее точные результаты, несмотря на то, что пространственно разделенные даблгибриды более обоснованы с точки зрения физической природы процессов, возникающих при переходе электрона на высшие орбитали.

Список использованных источников

1. Runge, E. Density-Functional Theory for Time-Dependent Systems / E. Runge, E.K.U. Gross // *Physical Review Letters*. – 1984. – V. 52, N 12. – P 997–1000. – DOI: 10.1103/PhysRevLett.52.997.
2. Dutta A.K. Towards a pair natural orbital coupled cluster method for excited states / A.K. Dutta, F. Neese, R. Izsák // *J. Chem. Phys.* – 2016. – V. 145. – P. 034102. – DOI: 10.1063/1.4958734.
3. Berraud-Pache R. Unveiling the Photophysical Properties of Boron-dipyrromethene Dyes Using a New Accurate Excited State Coupled Cluster Method / R. Berraud-Pache, F. Neese, G. Bistoni, R. Izsák // *J. Chem. Theory Comput.* – 2020. – V. 16, N 1. – P. 564–575. – DOI: 10.1021/acs.jctc.9b00559.
4. Dunning Jr. T.H. Gaussian basis sets for use in correlated molecular calculations. I. The atoms boron through neon and hydrogen / Dunning Jr. T.H. // *J. Chem. Phys.* – 1989. – V. 90. – P. 1007. DOI: 10.1063/1.456153.
5. Neese, F. The ORCA program system // *Wiley interdisciplinary Reviews - Computational Molecular Science*. – 2012. – V. 2, N 1. – P. 73–78. DOI: 10.1002/wcms.81.

УДК 544.169

Дегтярев А.А., Бакунин Н.С., Ростова Д.П., Тришина А.В.
Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов
e-mail: ad.dycost@gmail.com

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ НА ЭЛЕКТРОФИЛЬНО-НУКЛЕОФИЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ДИДЕЦИЛДИМЕТИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА

Degtyarev A.A., Bakunin N.S., Rostova D.P., Trishina A.V.
Tambov State Technical University, Russia, Tambov
e-mail: ad.dycost@gmail.com

EFFECT OF SOLVENT ON ELECTROPHILIC-NUCLEOPHILIC PROPERTIES OF DIDECYLDIMETHYLAMMONIUM CHLORIDE

Аннотация: Рассмотрены электрофильно-нуклеофильные свойства дидецилдиметиламмоний хлорида в вакууме, n-гексане и воде. Определено, что данное вещество может придавать олеофильные свойства поверхности пигментов только в неполярных растворителях либо при отсутствии растворителя. При этом поверхность пигмента должна иметь электрофильные свойства.

Ключевые слова: Дидецилдиметиламмоний хлорид, индексы реакционной способности, поверхностно-активные вещества, адсорбция, органические пигменты.

Abstract: Considered the electrophilic-nucleophilic properties of didecyldimethylammonium chloride in a vacuum, n-hexane and water. It has been determined that this substance can impart oleophilic properties to the surface of pigments only in non-polar solvents or in the absence of a solvent. In this case, the surface of the pigment must have electrophilic properties.

Keywords: Didecyldimethylammonium chloride, reactivity descriptors, surfactants, adsorption, organic pigments.

Дидецилдиметиламмоний хлорид является одним из самых часто применяемых в промышленности четвертичных аммониевых оснований, которые в свою очередь являются наиболее распространенными поверхностно-активными веществами (ПАВ) катионного типа.

ПАВ катионного типа применяются в качестве модификатора поверхности пигментов для придания ей олеофильных свойств [1]. Для возможности прогнозирования адсорбции ПАВ на поверхности пигмента нами был предложен метод на основании расчета индексов реакционной способности (ИРС) ПАВ и поверхности пигмента [2], который учитывает электрофильно-нуклеофильные свойства поверхности пигмента и молекулы ПАВ и определяет возможные сайты и механизм сорбции.

Целью данной работы является исследование влияния растворителя на возможность сорбции молекулы дидецилдиметиламмоний хлорида на поверхность органических пигментов и применимость данного четвертичного аммониевого основания для придания олеофильности поверхности.

В качестве исследуемых ИПС принимаются: заряды на атомах, энергии и локализации граничных орбиталей, абсолютная жесткость (по Пирсону), индекс электрофильности.

Моделирование молекулы дидецилдиметиламмоний хлорида проводилось на уровне теории функционала плотности (DFT), в качестве расчетного метода был принят B97-3с [3] для оптимизации геометрии и B97X-D3BJ [4] / def2-TZVPD [5] для расчета ИПС. Для оценки влияния растворителя проводились расчеты без растворителя, в типичном неполярном растворителе (н-гексан) и типичном полярном растворителе (вода). В качестве модели растворителя использовалась континуальная, SMD [6]. Все расчеты проводились в пакете ORCA 5 [7].

Дидецилдиметиламмоний хлорид может существовать в виде нейтральной молекулы, либо диссоциируя на анион хлора и катион аммонийного основания, чему будет способствовать наличие полярного растворителя. Мы рассмотрим свойства нейтральной молекулы и катиона.

В результате расчета энергии граничных орбиталей было выявлено, что нейтральная молекула проявляет преимущественно нуклеофильные свойства, энергия нижней вакантной молекулярной орбитали (НВМО) равна: 0,85эВ (вакуум), 1,21 эВ (н-гексан) и 1,54 эВ (вода). Катион же изменяет свои свойства в зависимости от среды, энергия НВМО: -1,83 эВ (вакуум, электрофил), -0,2 эВ (н-гексан, электрофил) и 1,63 эВ (вода, нуклеофил).

Значения ИПС для изучаемых частиц приведены на рис. 1-2.

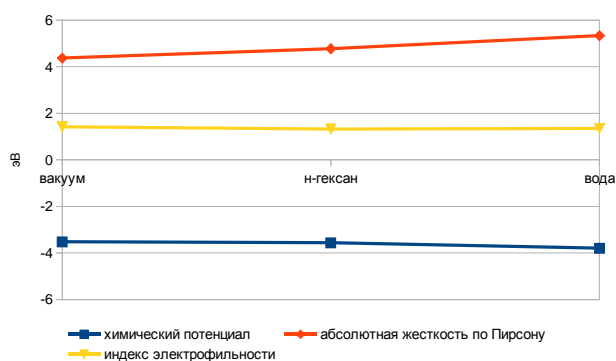


Рис. 1. Индексы реакционной способности молекулы дидецилдиметиламмоний хлорида

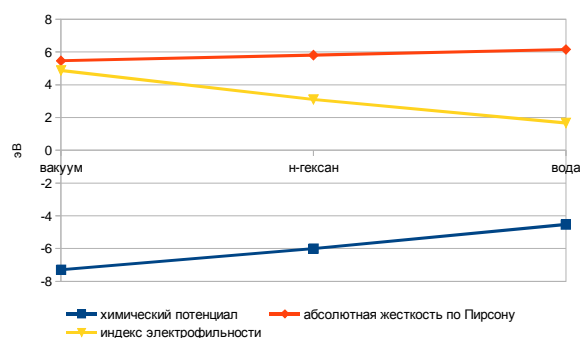


Рис. 2. Индексы реакционной способности катиона дидецилдиметиламмония

Из рис. 1-2 видно, что катион является более жестким по Пирсону и для него предпочтителен зарядовый контроль реакций, нейтральная молекула имеет промежуточную жесткость и может вступать в реакции как с зарядовым так и орбитальным контролем. Во всех случаях при переходе из вакуума к неполярному, а потом и полярному растворителю жесткость увеличивается. Индекс электрофильности

для нейтральной молекулы не зависит от среды, для катиона падает при переходе вакуум \rightarrow н-гексан \rightarrow вода, т. е. он становится более нуклеофильным в полярных средах.

Для нуклеофильных частиц (нейтральная молекула во всех средах и катион в воде) активным центром при взаимодействии с поверхностью будет верхняя занятая молекулярная орбиталь (ВЗМО), которая распределена по децильным группам для катиона (рис. 3) и сосредоточена на атоме хлора для нейтральной молекулы (рис. 4). Для электрофильных частиц (катион в вакууме и н-гексане) активным центром при взаимодействии с поверхностью будет НВМО, которая распределена на ближайших к азоту атомах углерода.

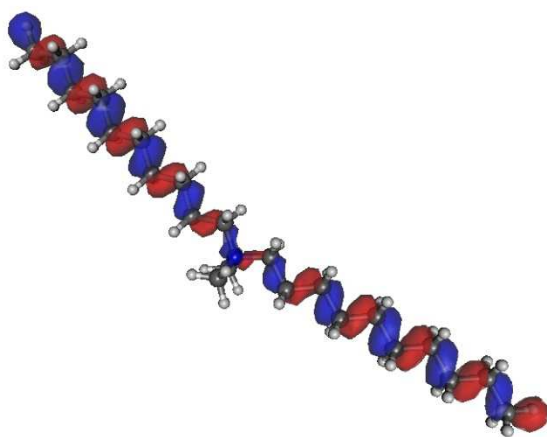


Рис. 3. Верхняя занятая молекулярная орбиталь катиона дидецилдиметиламмония в воде

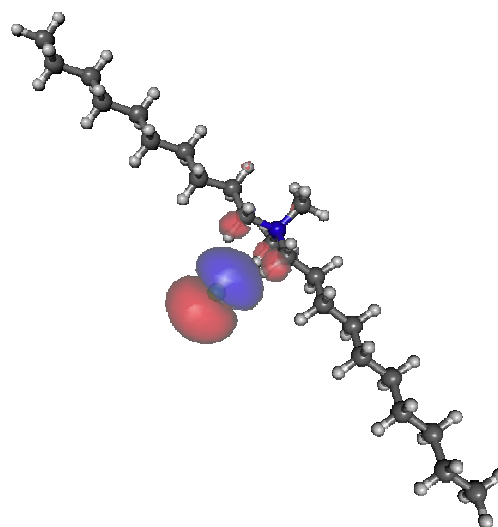


Рис. 4. Верхняя занятая молекулярная орбиталь дидецилдиметиламмоний хлорида в вакууме и н-гексане

Придание олеофильности поверхности пигмента возможно только в том случае, если большие неполярные группы (в данном случае децильные) будут расположены от поверхности пигмента, т. е. катион в воде не сможет никак олеофилизировать поверхность пигмента, существование же нейтральной молекулы в воде маловероятно. Существование катиона в неполярной среде и вакууме маловероятно, следовательно для данных сред рассматриваем нейтральную молекулу, которая будет сорбироваться по атому хлора, при этом децильные группы будут направлены от поверхности и смогут придать ей олеофильность.

Обобщая результаты скажем, что дидецилдиметиламмоний хлорид способен придать олеофильность поверхности пигмента только в неполярном растворителе либо без растворителя и при этом поверхность пигмента должна иметь электрофильную природу.

Список использованных источников

1. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика / пер. с англ.; под. ред. Р. Ламбурна. – СПб.: Химия, 1991. – 512 с.
2. Predicting the Possibility of Oleophilizing Surfaces of Copper Phthalocyanin on the Basis of Reactivity Descriptors / A.A. Degtyarev, A.V. Trishina, T.P. Dyachkova [et al.] // Russian Journal of Physical Chemistry A. – 2020. – Vol. 94. – No 8. – P. 1694-1698. – DOI: 10.1134/S0036024420080051.
3. B97-3c: A revised low-cost variant of the B97-D density functional method / J. G. Brandenburg, C. Bannwarth, A. Hansen, S. Grimme // Journal of Chemical Physics. – 2018. – Vol. 148. – No 6. – P. 064104. – DOI: 10.1063/1.5012601.
4. Najibi A. The Nonlocal Kernel in van der Waals Density Functionals as an Additive Correction: An Extensive Analysis with Special Emphasis on the B97M-V and ω B97M-V Approaches / A. Najibi, L. Goerigk // J. Chem. Theory Comput. – 2018. – Vol. No – 11. – P. 5725-5738. – DOI: 10.1021/acs.jctc.8b00842.
5. Rappoport, D. Property-optimized Gaussian basis sets for molecular response calculations / D. Rappoport, F. Furche // Journal of Chemical Physics. – 2010. – Vol. 133. – No 13. – P. 134105-11. – DOI: 10.1063/1.3484283.
6. Marenich, A. V. Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions / A. V. Marenich, C. J. Cramer, D. G. Truhlar // Journal of Physical Chemistry B: Biophysical Chemistry, Biomaterials, Liquids, and Soft Matter. – 2009. – Vol. 113. – No 18. – P. 6378-6396. – DOI: 10.1021/jp810292n.
7. Neese, F. The ORCA program system // Wiley interdisciplinary Reviews - Computational Molecular Science. – 2012. – V. 2, N 1. – P. 73–78. DOI: 10.1002/wcms.81.

УДК 544.032.4

Истомин А. М.¹, Рухов А. В.², Гончарова М.С.³

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

¹e-mail: andrewerer@mail.ru

²e-mail: artem1@inbox.ru

³e-mail: maria.go2016@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Istomin A. M.¹, Rukhov A. V.², Goncharova M.S.³

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

¹e-mail: andrewerer@mail.ru

²e-mail: artem1@inbox.ru

³e-mail: maria.go2016@yandex.ru

DETERMINATION OF THERMODYNAMIC PARAMETERS OF CHEMICAL REACTIONS USING VIRTUAL SIMULATION METHODS.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время информационные технологии получили широкое распространение во всех сферах деятельности человека, в том числе в области точных наук.

До развития цифровых технологий темпы научных исследований в сфере технических наук были значительно ниже, так как именно в данной области требуются длинные и сложные математические расчеты, и проведение данных математических операций человеком занимало значительное время, а, следовательно, увеличивалось время на проведение научных исследований.

В инженерной практике основными задачами являются как обеспечение рационального, устойчивого функционирования действующих производств, так и проектирование новых производств (линий получения продукции и т.д.). Для выполнения данных задач, также требуется проведение расчетов параметров процессов и характеристик, применяемого оборудования.

До применения цифровых методов для реализации данных целей, применялась концепция замены сложно рассчитываемых параметров, характеристик эмпирически полученными данными.

С развитием и распространением информационных технологий появились новые возможности для проектирования, расчетов и научных исследований, теперь появилась возможность расчета многих ранее недоступных характеристик, а также возможность проектирования процессов получения (производств), например, химических веществ,

без проведения эмпирических испытаний. Для проектирования достаточно лишь расчетов с использованием программных средств ЭВМ.

Например, раньше термодинамические параметры химических процессов определялись преимущественно экспериментально или при помощи сложных математических вычислений, выполняемых человеком.

Цель работы: расчет в зависимости от температуры термодинамических параметров реакции омыления подсолнечного масла, необходимых для проектирования производства, например, смазочных материалов на основе кальциевых мыл – солидола, при помощи полуэмпирического метода виртуального моделирования.

Полученные данные могут пригодиться в качестве нового справочного материала, на которые можно опираться при проектировании производства солидола жирового.

Теоретические основы полуэмпирического метода

Каждое состояние гамильтоновой системы частиц, молекул или атомов, может быть полностью описано функцией, зависящей от времени и координат частиц в пространстве, называется данная зависимость – волновая функция $\Psi(\{x\},t)$. [1]

Гамильтонова система – динамическая система, описывающая процессы происходящие без явления диссипации (перехода упорядоченной энергии, например, кинетическую в неупорядоченную теплоту).

Так как состояние зависит от 2 параметров времени и координат частиц, то в отдельных случаях представляется возможным рассмотрение системы в определенный момент времени, то есть переход к однопараметрической модели системы, следовательно, уравнение состояние системы будет выглядеть [2]:

$$\int \Psi \cdot \Psi \cdot dx, \quad (1)$$

то есть данное выражение 1 показывает, что в момент времени t , частица находится в диапазоне координат $(x; x+dx)$ – выражение плотности вероятности обнаружения частицы при условии нормирования на единицу.

Волновая функция представляет собой систему отсчета в которой происходит расчет характеристик молекулы, поэтому очень важно найти множество волновых функций, характеризующих квантовую систему.

Так как в данных системах многое связано с вероятностями, необходимо найти параметр, на который можно нормировать систему, например, полная энергия системы – E .

Каждой доступной для измерения величины A в любом из возможных состояний соответствует линейный эрмитов оператор A . Оператором называется символ, обозначающий математическую операцию, с помощью которой из одной функции получается другая, то есть система переходит в другое состояние. Каждому оператору отвечает уравнение $A \cdot f = a \cdot f$, где a – собственное значение оператора A , а функция f , отвечающая данному уравнению, собственная функция эрмитова оператора [3].

Получается в момент времени уравнение Шредингера имеет стационарный вид:

$$H \cdot \Psi = E \cdot \Psi \quad (2)$$

где H – эрмитов оператор системы, называется гамильтониан, характеризует полную энергию системы:

$$H=T+V \quad (3)$$

где T – сумма кинетической энергии системы, а V – сумма потенциальной энергии, обусловленной кулоновскими взаимодействиями положительно и отрицательно заряженных частиц.

В результате задача сводится к определению в уравнении 2 собственных значений E и функций Ψ эрмитового оператора H . Множество функций Ψ образуют полную ортонормированную систему. Набор собственных значений гамильтониана и волновых функций, удовлетворяющих условию (2) полностью характеризуют состояния квантовых систем.

Компьютерная программа использует подходящие функции Ψ для расчетов параметров.

Не стоит забывать в квантовых расчетах о принципе неопределенности Гейзенберга – чем точнее определено положение частицы в пространстве, тем сложнее определить ее импульс (скорость) и наоборот.

Таким образом, для изучения электронных состояний и свойств химических систем, необходимо решить уравнение Шредингера. Решения ищут с помощью вариационного принципа, минимизируя энергию системы и определяя функции, максимально близкие к собственным функциям оператора H . Вариационный принцип утверждает, что среднее значение энергии E_i любого из возможных i состояний системы не может быть меньше нижнего собственного значения E_0 оператора H . Вкратце далее функцию Ψ представляют в виде разложения по собственным операторам [4]:

$$\Psi = \sum_i c_i \cdot \Psi_i \quad (4)$$

Далее уравнение приходит к виду:

$$\Psi = \sum_i^n c_i \cdot \phi_i$$

ϕ_i - n выбранных из некоторых соображений функций (например, для атомов - это могут быть атомные орбитали, о которых мы поговорим далее), часто называемые базисными, а c_i - переменные параметры. Далее первые производные c_i равны нулю, а ϕ_i представляют оператор H в базисе функций, далее необходимо найти разность данной матрицы базисных функций и матрицы интегралов перекрывания.

Данная задача предполагает сложные математические расчеты, но с использованием компьютерных средств это занимает незначительное время.

В полуэмпирическом методе расчета применяется концепция замены наиболее трудоемких интегралов экспериментальными константами, остальное решается при помощи цифровых мощностей.

Результат данных расчетов мы можем оценить на примере расчета термодинамических параметров процесса омыления подсолнечного масла, который является стадией получения загустителя в производстве консистентных кальциевых смазок (солидолов).

Результаты расчетов в рамках проводимого исследования

Расчеты выполнялись на платформе Gabedit, программой MOPAC, редактор химических формул, молекул представлен на рис. 1:

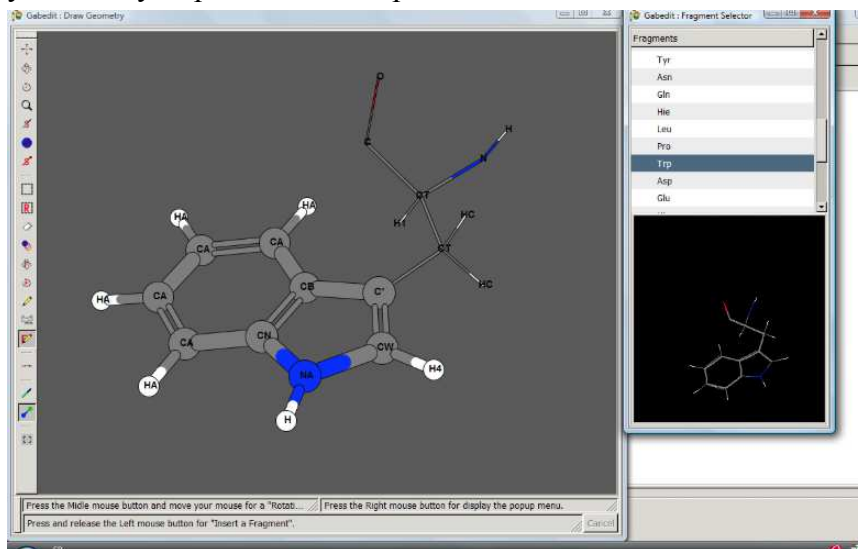


Рис. 1. Редактор формул Gabedit.

Данная программа после введения формулы веществ, проводит оптимизацию геометрии молекул, до значения заданного градиента энергии молекулы, т.е. до состояния при котором энергия молекулы минимальна, значение градиента для точности термических расчетов $grad=0.2$. После оптимизации геометрии запускается термодинамический расчет.

Программа использует полуэмпирический метод PM 7, основанный на методе Хартри-Фока.

Химическая реакция омыления эфира линолевой кислоты, преимущественно содержащиеся в подсолнечном масле представлена на рис. 2 [5]:

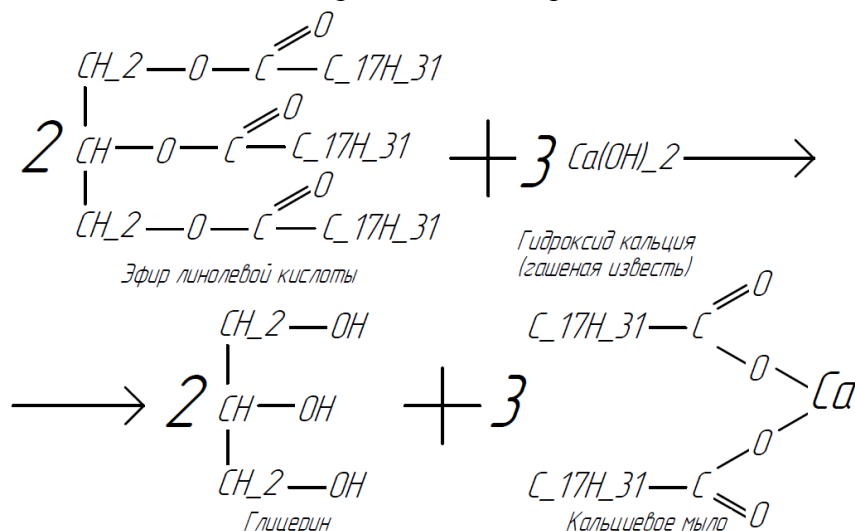


Рис. 2. Реакция омыления эфира линолевой кислоты.

Реакция омыления других эфиров протекают аналогично.

Данные расчета термодинамических параметров реакции от температуры представлены в таблице 1.

Таблица 1. Термодинамические параметры

T, K	ΔS реакц., Дж	ΔH реакц., кДж	ΔG , кДж	Kp
293	86,55	-723,89	-749,25	3,77401494923765E+133
298	86,03	-724,04	-749,68	2,57753309396031E+131
313	84,51	-724,51	-750,96	2,12390742038841E+125
333	82,61	-725,11	-752,62	1,14961973862353E+118
353	80,85	-725,71	-754,26	4,11075093986578E+111
373	79,22	-726,31	-755,86	7,15091324036068E+105

где ΔS – изменение энтропии реакционной системы, ΔH – изменение энтальпии системы, ΔG – изменение свободной энергии Гиббса.

При анализе полученных данных мы делаем вывод, что реакция необратима по высоким значениям констант равновесия, процесс самопроизвольный вследствие отрицательного значения энергии Гиббса, реакция экзотермична – с выделением тепла – по отрицательному изменению энтальпии.

По полученным значениям были путем аппроксимации подобраны графические зависимости и найдены функции изменения параметров энтальпии и энергии Гиббса.

Полученные зависимости представлены на рис. 3 и 4:

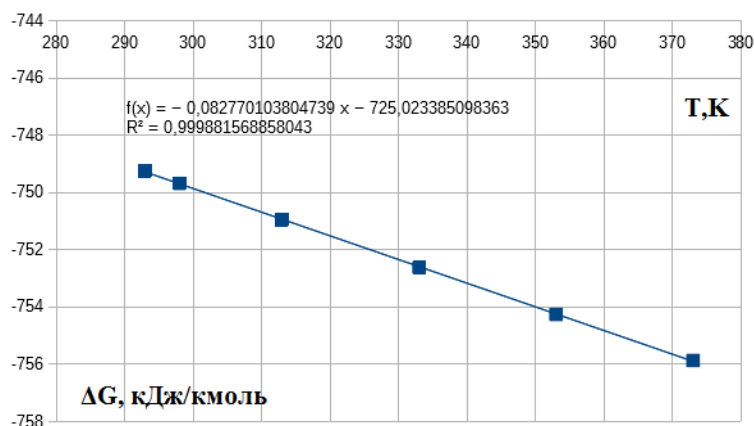


Рис.3. Зависимость энергии Гиббса.

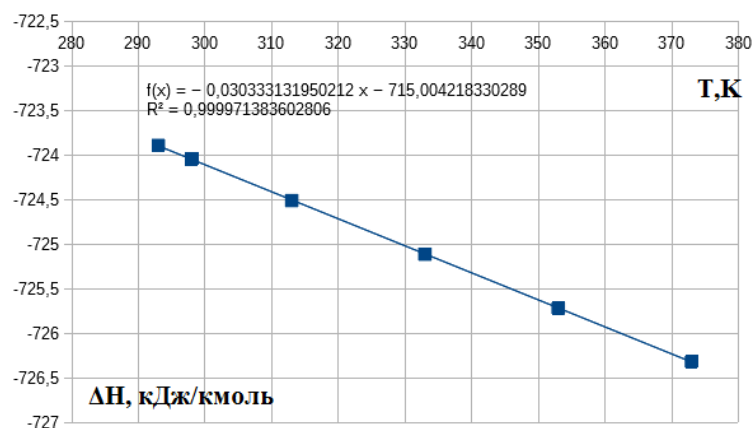


Рис.4. Зависимость энтальпии.

Как мы видим рассчитанный коэффициент детерминации в обоих случаях приблизительно равен 1, что соответствует линейной зависимости, а также доказывает правильность проведенных расчетов и подобранных функций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчеты с использованием средств виртуального моделирования выполняется гораздо быстрее, чем расчет, проводимый человеком, а также имеет большую точность, более экономически выгоден, так как не требует глобальных экспериментальных испытаний. В этом мы убедились благодаря расчету термодинамических параметров процесса омыления линолевой кислоты с использованием полуэмпирического метода, который входит в множество методов молекулярного виртуального моделирования.

Данные термодинамические параметры необходимо знать для подбора условий реакции и соответственно типа оборудования, материалов аппаратов и т.д. Эти характеристики являются неотъемлемой частью при проектировании или поддержании, модернизации действующих производств. Полученные в результате этой работы данные принесут серьезную пользу в качестве нового справочного материала при оптимизации или проектировании производств. Также теоретическое обоснование полуэмпирического метода виртуального моделирования приведет к более активному его применению, получению новых данных и модернизированных методик расчета.

Список использованных источников

1. Абаренков, И.В. Простейшие модели в квантовой механике [Текст]: учеб. пособие / И.В. Абаренков, С.Н. Загуляев. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. – 128 с.
2. Березин, Ф.А., Уравнение Шредингера [Текст] / Ф.А. Березин, М.А. Шубин – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 392 с.
3. Лагутин, А.А. Элементы квантовой теории: раздаточный материал [Текст] / А.А. Лагутин. – Барнаул: Азбука, 2012. – 80 с.
4. Кулик, С.Д. Введение в теорию квантовых вычислений (методы квантовой механики в кибернетике) [Текст]: учеб. пособие в 2 кн. Книга 2. / С.Д. Кулик, А.В. Берков, В.П. Яковлев. – М.: МИФИ, 2008. – 532 с.
5. Бонер, К.Дж. Производство и применение консистентных смазок [Текст] / К.Дж. Бонер; пер. с англ. А.П. Чочиа, под ред. В.В. Сеницына. – М.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1958 – 704 с.

УДК 66.081.6

Лазарев Д. С., Котенев С. И., Абоносимов О.А.

Тамбовский государственный технический университет, Россия, г. Тамбов

e-mail: abontam@inbox.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
МАССОПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОБАРОМЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ**

Lazarev D.S., Kotenev S.I., Abonosimov O.A.

Tambov State Technical University, Russia, Tambov

e-mail: abontam@ inbox.ru

**MATHEMATICAL MODELING OF MASS TRANSFER PROCESS OF
ELECTROBAROMEMBRANE SEPARATION OF TECHNOLOGICAL
SOLUTIONS**

Аннотация: В работе представлена разработанная математическая модель электробаромембранного процесса, основанная на решении уравнений Нернста-Планка и Пуассона-Больцмана с учетом принятых допущений и граничных условий, и учитывающая влияние на мембранный процесс двух движущих сил – трансмембранного давления и градиента электрического потенциала.

Ключевые слова: математическая модель, электробаромембранное разделение, массоперенос, трансмембранное давление, градиент электрического потенциала.

Abstract. The paper presents a developed mathematical model of the electrobaromembrane process, based on the solution of the Nernst-Planck and Poisson-Boltzmann equations, taking into account the accepted assumptions and boundary conditions, and taking into account the influence of two driving forces on the membrane process - transmembrane pressure and electric potential gradient.

Keywords: mathematical model, electrobaromembrane separation, mass transfer, transmembrane pressure, electric potential gradient..

Существуют разные математические описания механизма массопереноса в мембранах, однако они имеют свои ограничения и допущения и не всегда отражают физику электробаромембранного процесса [1-3]. Представленные математические модели реально применимы лишь только для частных специализированных случаев и не дают полного физико-математического описания. Математическое описание для электробаромембранных процессов и аппаратов пока не имеет совершенного вида и в точности математически не описывают механизм переноса веществ через мембрану [3,4]. Например, в работе [5] математическое описание модели базируется на подходе, основанном на уравнения конвективной диффузии. В нашем случае перенос вещества и рас-

творителя обусловлен не только конвективным и диффузионным переносом, но еще и электромассопереносом. Поэтому при математическом описании электробаромембранного процесса использовали подход основанный на уравнениях Нернста-Планка и Пуассона-Больцмана и гидродинамическая обстановка в межмембранном канале учитывалась критериальным уравнением через критерий Рейнольдса.

Запишем задачу переноса веществ через мембраны при воздействии на систему извне приложенного трансмембранного давления и электрического потенциала, при течении исследуемого раствора в плоском мембранном канале (Рис. 1.). На рис. 1. приведено: $M1, M2$ – полупроницаемые мембраны; L – длина мембранного канала в мембранном элементе (м); R_y – параметр по попувысоте межмембранного канала (м); C, C_n – параметр, характеризующий концентрации растворенного вещества в исследуемом растворе и в прикатодном или прианодномпермеате соответственно ($\text{кг}/\text{м}^3$); U – продольная скорость течения раствора в трубчатом элементе (м/с); V – поперечная скорость течения раствора в трубчатом элементе (м/с); β – параметр, характеризующий величину коэффициентов массоотдачи от раствора к мембранам (м/с); R – параметр, характеризующий коэффициент задержания растворенного вещества в мембранах.

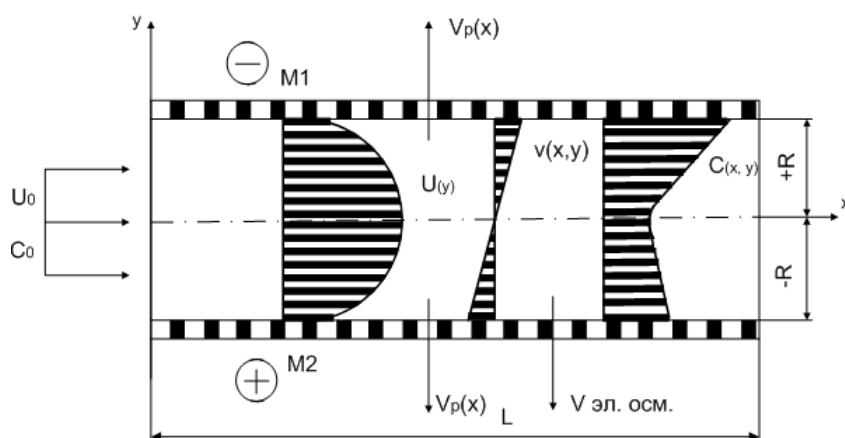


Рис. 1 Схема массопереноса в плоском межмембранном канале

Запишем математическую задачу в следующем виде [6]:

$$\nabla \cdot [\eta \cdot (\nabla u + (\nabla u)^T)] + \rho \cdot (u \cdot \nabla) \cdot u + \nabla P = 0, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot u = 0, \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (-D \cdot \nabla c - z \cdot u_m \cdot F \cdot \nabla U) = -u \cdot \nabla c, \quad (3)$$

$$-\nabla \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \nabla U = \theta. \quad (4)$$

Задача по гидродинамике течения раствора в межмембранном канале для ламинарного, стационарного и установившегося режима описывается уравнением следующего вида:

$$\frac{\partial^2 u(x, y)}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial P(x, y)}{\partial x} - \frac{\partial \pi(x, y)}{\partial x} \right). \quad (5)$$

Граничные условия:

$$u(x, R_Y) = 0, \quad (6)$$

$$u(x, -R_Y) = 0. \quad (7)$$

Так как трансмембранное давление изменяется только вдоль оси плоского канала, то можно записать:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial \pi}{\partial x} \right). \quad (8)$$

Задача решается в следующей последовательности: из решения задачи гидродинамики находится выражение для давления и распределения скоростей по длине и высоте канала и давления по длине канала. Полученные выражения используются в уравнении Нернста–Планка. В результате система уравнений, описывающая закономерности массопереноса, принимает вид:

Уравнение Нернста-Планка:

$$\nabla \cdot (-D \cdot \nabla c(x, y) - z \cdot u_m \cdot F \cdot \nabla U(x, y)) = - \left(u(x, y) \cdot \frac{\partial c(x, y)}{\partial x} + v(x, y) \cdot \frac{\partial c(x, y)}{\partial y} \right) \quad (9)$$

С граничными условиями:

$$c(0, y) = c_0, \quad (10)$$

$$R \cdot v(x, -R) \cdot c(x, -R) = D \cdot \nabla c(x, -R_Y) + z \cdot u_m \cdot F \cdot c(x, -R_Y) \cdot \nabla U(x, -R_Y), \quad (11)$$

$$R \cdot v(x, R_Y) \cdot c(x, R_Y) = D \cdot \nabla c(x, R_Y) + z \cdot u_m \cdot F \cdot c(x, R_Y) \cdot \nabla U(x, R_Y), \quad (12)$$

Уравнение Пуассона-Больцмана:

$$-\nabla \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \nabla U(x, y) = \theta. \quad (13)$$

С граничными условиями:

$$U(x, -R_y) = -V_0, \quad (14)$$

$$U(x, R_y) = -V_0, \quad (15)$$

$$U(L, y) = 0, \quad (16)$$

$$U(0, y) = 0. \quad (17)$$

Данную систему уравнений (9)-(17) необходимо решить методом конечных разностей с определением поля концентраций $C(x,y)$ [7].

Рассчитанные параметры процесса разделения водного раствора меди для прианодных и прикатодных мембран представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 1. Рассчитанные параметры процесса разделения водного раствора меди для прианодных мембран МГА-95, ОПМ-К при $C_{исх} = 0,02 \text{ кг/м}^3$ и $P_H = 1 \text{ МПа}$.

МГА-95	$L, \text{ м}$	0,5	0,5	0,5	0,5
	$R, \text{ м}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
	$\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$
	k	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$
	$D, \text{ м}^2/\text{с}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$
	$P_H, \text{ Па}$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
	$P_K, \text{ Па}$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$
	R	0,938	0,941	0,947	0,961
	$C_{исх}, \text{ кг/м}^3$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
	$i, \text{ А/м}^2$	36,2	39,7	45,7	54,1
	$C_{рег}, \text{ кг/м}^3$	$4,05 \cdot 10^{-2}$	$4,06 \cdot 10^{-2}$	$4,08 \cdot 10^{-2}$	$4,14 \cdot 10^{-2}$
ОПМ-К	$L, \text{ м}$	0,5	0,5	0,5	0,5
	$R, \text{ м}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
	$\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$
	k	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$
	$D, \text{ м}^2/\text{с}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$
	$P_H, \text{ Па}$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
	$P_K, \text{ Па}$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$
	R	0,915	0,918	0,925	0,933
	$C_{исх}, \text{ кг/м}^3$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
	$i, \text{ А/м}^2$	37,1	40,3	46,2	55,6
	$C_{рег}, \text{ кг/м}^3$	$4,01 \cdot 10^{-2}$	$4,02 \cdot 10^{-2}$	$4,05 \cdot 10^{-2}$	$4,08 \cdot 10^{-2}$

Таблица 2. Рассчитанные параметры процесса разделения водного раствора меди для прикатодных мембран МГА-95, ОПМ-К при $C_{исх} = 0,02 \text{ кг/м}^3$ и $P_H = 1 \text{ МПа}$.

МГА-95	$L, \text{ м}$	0,5	0,5	0,5	0,5
	$R, \text{ м}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
	$\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$
	k	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$
	$D, \text{ м}^2/\text{с}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$	$1,59 \cdot 10^{-10}$
	$P_H, \text{ Па}$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
	$P_K, \text{ Па}$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$
	R	0,936	0,928	0,922	0,917
	$C_{исх}, \text{ кг/м}^3$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
	$i, \text{ А/м}^2$	36,2	39,7	45,7	54,1
	$C_{рет}, \text{ кг/м}^3$	$4,04 \cdot 10^{-2}$	$4,01 \cdot 10^{-2}$	$3,98 \cdot 10^{-2}$	$3,96 \cdot 10^{-2}$
ОПМ-К	$L, \text{ м}$	0,5	0,5	0,5	0,5
	$R, \text{ м}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
	$\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-4}$
	k	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$	$4,62 \cdot 10^{-12}$
	$D, \text{ м}^2/\text{с}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$	$1,553 \cdot 10^{-10}$
	$P_H, \text{ Па}$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
	$P_K, \text{ Па}$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$	$9,9 \cdot 10^5$
	R	0,913	0,911	0,908	0,904
	$C_{исх}, \text{ кг/м}^3$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
	$i, \text{ А/м}^2$	37,1	40,3	46,2	55,6
	$C_{рет}, \text{ кг/м}^3$	$4 \cdot 10^{-2}$	$3,99 \cdot 10^{-2}$	$3,98 \cdot 10^{-2}$	$3,96 \cdot 10^{-2}$

Возможность извлечения целевых металлов, в частности меди, с использованием результаты теоретического прогнозирования электромембранного разделения растворов по предлагаемой математической модели, позволит значительно сократить производственные издержки предприятий, сократить загрязнение водоемов.

Список использованных источников

1. Гришин, С.С. К вопросу математического моделирования мембранных процессов очистки. /С.С. Гришин// Альтернативная энергетика и экология.- 2013. - № 10.- С. 57-61.
2. Муравьев, Л.Л. Моделирование работы обратноосмотических установок с ролонными фильтрующими элементами. / Л.Л. Муравьев // Химия и технология воды, 1989. – Т.11, №1. – С. 107–109.

3. Головашин, В.Л. Математическая модель совместного электротепломассопереноса в электробаромембранных системах // Вестник ТГТУ. 2014. №4 С.734-746

4. Хорохорина, И.В. Кинетика и структурные характеристики мембран электро-ультрафильтрационной очистки промышленных растворов от анионных поверхностно-активных веществ: Дис. канд. тех. наук. – Тамбов, 2014. - 130 с.

5. Горбачёв, А.С. Кинетика электробаромембранного разделения водных сульфатосодержащих растворов (в производстве оптических отбеливателей): Дис. канд. тех. наук. – Тамбов, 2006. –196 с.

6. Лазарев, С.И. Применение мембранных технологий в очистке сточных вод гальванопроизводств / С.И . Лазарев, Д.О. Абоносимов // Вестник ТГТУ - 2014, Т.20, №2-С.306-311.

7. Лазарев, С.И. Модель расчёта массопереноса в электробаромембранных аппаратах рулонного типа / С.И. Лазарев, О.А. Абоносимов, М.А. Рябинский, А.С. Горбачёв // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51, вып. 5. – С. 109 – 111.

Научное электронное издание

**ВИРТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ,
ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ДИЗАЙН**

**Материалы VII Международной
научно-практической конференции**

Выпуск 7

Компьютерное макетирование Е. Е. Румянцевой
Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой

ISBN 978-5-8265-2400-8



Подписано к использованию 08.11.2021.

Тираж 100 шт. Заказ № 112

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.

Телефон (4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@tstu.ru