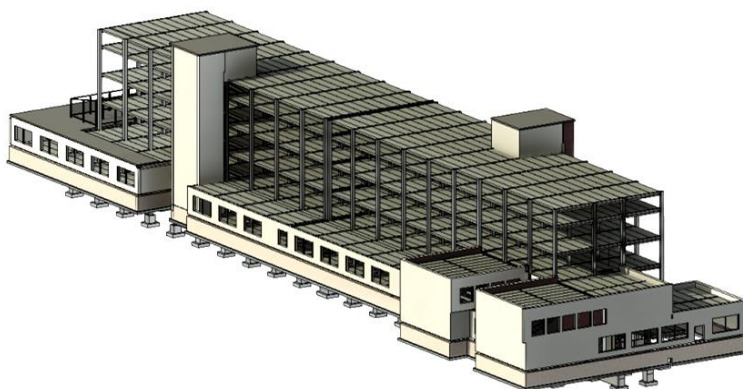


В. В. ЛЕДЕНЁВ, О. В. УМНОВА, В. М. АНТОНОВ

ТЕОРИЯ РАСЧЁТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

В. В. ЛЕДЕНЁВ, О. В. УМНОВА, В. М. АНТОНОВ

ТЕОРИЯ РАСЧЁТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Утверждено Учёным советом университета
в качестве учебного пособия для студентов, магистров, аспирантов,
научных работников и инженеров

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023

УДК 624.04(075.8)
ББК 581.1я73
ЛЗ9

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор кафедры «Городское строительство
и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «ТГТУ»

А. Ф. Зубков

Главный инженер проекта

ООО «Архград»

Я. В. Савинов

ЛЗ9

Леденёв, В. В.

Теория расчёта строительных конструкций : курс лекций /
В. В. Леденёв, О. В. Умнова, В. М. Антонов. – Тамбов : Издательский
центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). –
Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-
дисковод ; 4,7 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2576-0

Рассмотрены методы расчёта, проектирования, изучения грунтовых осно-
ваний, фундаментов несущих строительных конструкций, зданий и сооруже-
ний, основываясь на достижениях строительной науки, опыте возведения
и эксплуатации разных объектов. Особое внимание уделено использованию
фундаментальных понятий механики и теории надёжности, требований феде-
ральных законов.

Предназначен для студентов, магистрантов, аспирантов, научных
работников и инженеров.

УДК 624.04(075.8)

ББК 581.1я73

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

ISBN 978-5-8265-2576-0

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Теория расчёта строительных конструкций» базируется на научных трудах направления «Теория сооружений», которое ввёл крупный советский учёный и практик И. П. Прокофьев (1877 – 1958). В них предлагается единый подход к проектированию различных несущих строительных конструкций, зданий и сооружений.

Идея оказалась плодотворной и актуальной в настоящее время при возрастающей сложности и ответственности возводимых объектов или систем сооружений, например многофункциональных центров, объединённых технологической проблемой.

Значительно усложнилось и использование нормативно-справочной литературы, ориентированной на достаточно высокий научно-технический уровень пользователя. Всё большее влияние на надёжность и долговечность объектов оказывает и технология производственных процессов.

Приведённый в книге материал согласован с современными научно-техническими данными, приведёнными в нормативных документах, рекомендациях, руководствах, публикациях в научных журналах, монографиях, отчётах научно-исследовательских работ кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет».

Лекция 1

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

1.1. МИРОВАЯ И ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ПРАКТИКА

К наиболее конкретным и значимым исследованиям и достижениям в мировой и отечественной практике следует отнести следующие:

- получение высокопрочных бетонов;
- разработка и внедрение методов расчёта и проектирования систем с мгновенно выключающимися связями (В. И. Колчунов и др.);
- вероятностно-статистическая теория взаимодействия сооружений с неоднородными грунтовыми основаниями (А. П. Пшеничкин, Б. А. Гарагаш, В. А. Пшеничкина);
- численно-аналитические методы решения задач строительной механики (А. Б. Золотов, П. А. Акимов, В. Н. Сидоров, М. Л. Мозгалева);
- исследование и проектирование высотных зданий (Wang Lijun, О. А. Шулятьев);
- сейсмостойкость оснований, фундаментов, зданий (Я. И. Айзенберг, Л. Р. Ставницер);
- подземное строительство (В. И. Теличенко, Е. А. Король, П. Б. Каган, Д. С. Конюхов);
- проектирование и реконструкция мостовых сооружений (В. С. Сафронov и др.);
- проектирование и строительство вантовых мостов;
- математическое моделирование динамической прочности конструкционных материалов (Н. Н. Белов, Д. Г. Копаница, Н. Т. Югов);
- расчётные модели сооружений (А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер);
- техническое обследование зданий и сооружений в целях обоснования пригодности для ремонта и реконструкции (почти во всех городах имеются организации для проведения работ);
- мониторинг (всё чаще проводятся наблюдения за напряжениями и деформациями наиболее ответственных объектов);
- полевые и лабораторные исследования грунтов эксплуатируемых объектов для разработки проектов усиления, надстройки, пристройки, перепланировки;
- разработка проектов регулирования усилий и напряжений в элементах здания или сооружения;

- разработка проектов усиления оснований, фундаментов, несущих строительных конструкций;
- совершенствование теории расчёта пространственных конструкций (М. Н. Кирсанов, А. А. Трещев, М. В. Шитикова);
- развитие теории деформирования и прочности анизотропных материалов и материалов, чувствительных к виду напряжённого состояния (Л. А. Толоконников, А. А. Трещев);
- экспериментальные исследования напряжённо-деформированного состояния;
- экспериментальные исследования грунтовых оснований (Ю. Н. Мурзенко и др.);
- исследования конструкций методом фотоупругости (Н. И. Пригоровский, Г. Л. Хесин и др.);
- компьютерное моделирование оснований – конструкций (А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров, Д.М. Шапиро, М.В. Шитикова и др.);
- развитие теории деформирования и прочности анизотропных материалов и материалов, чувствительных к виду напряжённого состояния (Н. М. Матченко, А. А. Трещев);
- моделирование процессов взаимодействия конструкций с агрессивными средами (И. Г. Овчинников, В. В. Петров).

1.2. СТРОИТЕЛЬНЫЕ НАУКИ

Быстрому и качественному развитию науки способствовало возведение высотных и уникальных объектов, где использованы достижения известных зарубежных и отечественных фирм, авторитетных учёных и специалистов, где проявляется реальная конкуренция.

Этапы развития строительной науки и техники описаны в соответствующей учебной литературе.

Интенсивность научных достижений ускоренно возрастает, чему способствует компьютеризация, активная деятельность отдельных школ и выдающихся учёных.

Отметим наиболее крупные, на наш взгляд, работы:

- совершенствуются нормы и методы расчёта и конструирования зданий и сооружений, уточняются требования к ним;
- повышается наукоёмкость возведения крупных, уникальных и высотных объектов, учитывается и используется опыт и достижения зарубежных специалистов;
- предлагаются способы более эффективного использования механических свойств материалов и грунтов оснований путём регулирования усилий, напряжений и перемещений;

- разрабатываются новые технологии и виды материалов и изделий, конструкций и конструктивных решений, особенно значительные достижения получены в области бетоноведения;

- всё шире внедряется система управлений проектами, строительством, производственным процессом, маркетингом, финансовыми и материальными потоками, эксплуатацией и мониторингом объектов;

- разрабатываются и уточняются методы расчёта и проектирования с учётом дефектов, повреждений, внезапных структурных изменений зданий или сооружений, изменения начальных (исходных) данных.

Приведём имена выдающихся зарубежных и отечественных учёных, внесших значительный вклад в становление и развитие строительной науки: С. П. Тимошенко (теория упругости, пластины, оболочки, устойчивость упругих систем), К. Терцаги (механика грунтов), А. Надаи (механика упругих, вязких и пластичных сред, сыпучих материалов, тектоника плит), В. З. Власов (тонкостенные упругие стержни, пластины, оболочки), Л. И. Седов (механика сплошной среды, термодинамика), А. П. Филин (прикладная механика твёрдого тела), В. В. Новожилов (нелинейная теория упругости, теория тонких оболочек), А. С. Вольмир (устойчивость упругих систем), В. В. Соколовский (теория пластичности), Б. Н. Жемочкин (теория упругости, расчёт фундаментов мелкого заложения), Н. Н. Малинин (теория пластичности и ползучести), Н. С. Стрелецкий (теория расчёта металлических конструкций), Дж. Оден (конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред), О. К. Зенкевич (метод конечных элементов).

1.3. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время инженерные изыскания, проектирование, строительно-монтажные работы, материально и инженерно-техническое обеспечение, мониторинг и контроль качества, оперативное управление объектами, разработка стратегических планов и решений проводятся с использованием информационных технологий, которые непрерывно развиваются в направлении сокращения сроков строительства, увеличения времени эксплуатации, экономии затрат. Много внимания уделяется обеспечению сохранности окружающей среды и повышению безопасности жизнедеятельности на производстве.

Современные вычислительные комплексы позволяют учесть: размеры, геометрию, пространственное расположение отдельных конструкций и их комбинаций; последовательность ведения строительно-монтажных работ; изменяющиеся при этом расчётные схемы; комбинации нагрузок и воздействий; физическую и геометрическую нелинейность; реологические и физико-механические характеристики материалов; жёсткостные характеристики

конструкций и объектов строительства; дефекты, повреждения, проёмы, концентраторы и концентрации напряжений; особенности грунтовых оснований и их изменения во времени; стечение неблагоприятных обстоятельств.

Развитие заводского домостроения и индустриализация строительства возможны на основе применения метода архитектурно-строительной стандартизации. Типизация – процесс создания многократно используемых проектов зданий и их основных частей-секций, блок-секций, объёмно-планировочных элементов и отдельных изделий.

В настоящее время осуществляется поиск новых путей типизации. Важной проблемой становятся техническая и экономическая целесообразность, художественная выразительность, удовлетворение требованиям современного градостроительства.

Прогрессивным направлением является «открытая» система типизации, предусматривающая заводское изготовление определённого набора типовых деталей, из которых при различных сочетаниях komponуются здания различных композиционных решений.

Разработка проекта – сложный последовательный процесс, в котором участвуют архитекторы, геологи, конструкторы, геодезисты, инженеры и специалисты по разным направлениям (технологи, экономисты, инженеры разных специальностей (отоплению, водоснабжению, вентиляции, освещению и т.д.)). Задание на проектирование готовит заказчик при участии проектной организации.

Новой является технология 3D-печати. 3D-печать подразумевает создание объектов путём нанесения последовательных слоёв материалов. Модели, изготовленные таким образом, могут применяться как для создания опытных образцов, так и в качестве готовых изделий.

Метод послойного экструдирования является основным способом 3D-печати большинства строительных принтеров. Его суть состоит в том, что рабочее сопло или экструдер 3D-машины выдавливают быстротвердеющую бетонную смесь с различными добавками. Каждый очередной слой выдавливается 3D-принтером поверх предыдущего.

Идея метода принадлежит Бехроху Бошневису (2012) из Южно-Калифорнийского университета. Метод стал основой для 3D-принтера одной китайской компании, которая в 2014 г. напечатала серию настоящих домов.

1.4. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОБЪЕКТОВ

Объекты строительства – здания, сооружения, возводимые для длительного использования и образующие вместе с земельным участком единое целое с точки зрения архитектурно-градостроительного, объёмно-планиро-

вочного, функционального, инженерно-технического, технологического решения.

Строительство означает поэтапное выполнение проектных, строительномонтажных, пусконаладочных работ.

Проектирование осуществляется на основании технического задания заказчика, в котором определены основные параметры объекта. К ним относятся:

- сведения о земельном участке, вид строительства: новое или реконструкция, местонахождение объекта;
- технико-экономические показатели, в которых отражается наименование объекта; функциональное назначение; этажность (в том числе – подземная); градостроительные, архитектурно-планировочные и конструктивные решения (площадь, высота, глубина залегания, объём; материалы); способ прокладки наружных инженерных коммуникаций;
- геодезические, геологические изыскания;
- сроки возведения зданий, сооружений (для объектов, введение в эксплуатацию которых не предусмотрено – год завершения строительства);
- разделение процесса строительства на этапы при необходимости;
- технические условия от владельцев сетей для подключения к объектам инженерной инфраструктуры. Они содержат указание точек подключения, предельные показатели мощности ресурсов, которыми может воспользоваться проектная организация при проектировании наружных сетей;
- перечень конструкций и оборудования.

Лекция 2

ОСНОВНЫЕ ТЕОРИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

2.1. ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ

Сооружения должны в течение предусмотренного срока службы с большой вероятностью воспринимать механические нагрузки, химические, биологические и климатические воздействия, ошибки человека.

За всё время службы конструкции Z сопротивление материалов R с очень высокой вероятностью должно превышать нагрузку S , воспринимаемую опасными сечениями, т.е.

$$Z = R - S \geq 0.$$

Источником ошибок человека является недостаточный уровень знаний каждой конкретной личности. Необходимо постоянное обучение и переобучение. Потенциальную опасность представляют ошибочные действия человека из-за халатности, попустительств и безответственности, отсутствие интереса к нахождению надёжного решения технических проблем.

Важной задачей является ограничение ущерба при внезапных разрушениях, например хрупких. Необходим выбор таких статических систем, чтобы выход из строя одного элемента не приводил к внезапному полному разрушению всей системы, т.е. чтобы была возможность изменения конструкции при появлении предвестников разрушения.

Определение предельных состояний: ПС – это состояния, при которых конструкция, основание (здание или сооружение) перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям или требованиям при производстве работ (ГОСТ 27751–2014 «Надёжность строительных конструкций и оснований»).

Расчёт и составление конструкций производится на основании ГОСТ 27751–2014. В данном стандарте указывается на необходимость проектирования строительных конструкций и оснований, обладающих достаточной надёжностью при возведении и эксплуатации с учётом при необходимости особых воздействий (землетрясения, наводнения, пожара, взрыва).

Согласно ГОСТ 27751–2014 предельные состояния подразделяются на две группы. Первая группа предельных состояний – состояния строительных объектов, превышение которых ведёт к потере несущей способности строительных конструкций и возникновению аварийной расчётной ситуации. Эти предельные состояния можно определить, как абсолютные предельные состояния. Вторая группа предельных состояний – состояния, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация строительных конструкций, исчерпывается ресурс их долговечности или нарушаются условия комфортности. Эти предельные состояния можно определить как функциональные предельные состояния. Особые предельные состояния – состояния, возникающие при особых воздействиях и ситуациях, превышение которых приводит к разрушению сооружений с катастрофическими последствиями.

Приведём основные положения о предельных состояниях из книги Г. Шпете (1987).

Предельными называют состояния, при переходе за которые сооружение перестаёт соответствовать поставленным требованиям.

По степени ограничений в эксплуатации и возможных последствий отказа предельное состояние подразделяют на две группы.

К первой относят состояния, при выходе за которые конструкция или сооружение становится непригодным к эксплуатации:

- общая потеря устойчивости;
- потеря устойчивости положения;
- разрушение любого характера;
- переход в изменяемую систему;
- качественные изменения конфигурации;
- состояния, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации вследствие чрезвычайных деформаций ползучести и пластичности, сдвигов в соединениях или чрезмерного раскрытия трещин, возникает опасность для здоровья и жизни людей или ожидается большой материальный и экологический ущерб.

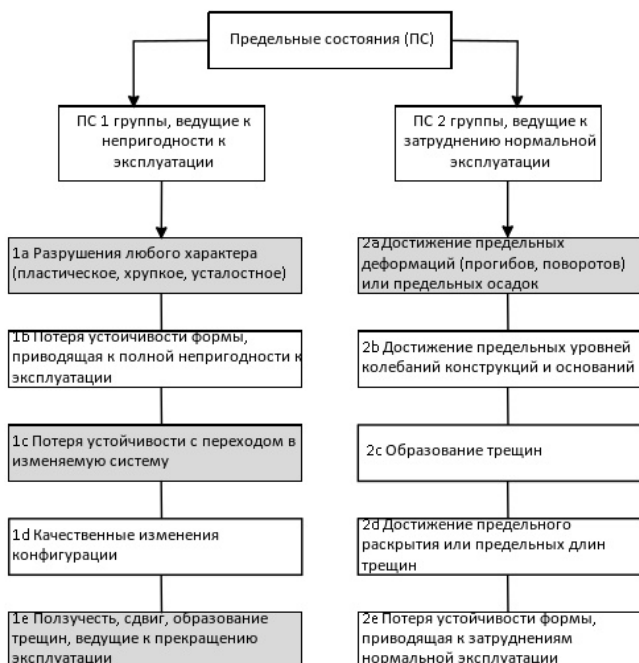


Рис. 2.1. Группы и виды предельных состояний (структурная схема). Выделенные виды ПС (1а, 1с, 1е, 2а) связаны с формами разрушения и деформирования геотехнических объектов

Ко второй группе предельных состояний относятся состояния, при выходе за которые:

- затрудняется нормальная эксплуатация;
- возникают недопустимые деформации, уровни колебания, изменения положения, раскрытие трещин.

Выход за эти предельные состояния не представляет опасности для жизни и здоровья людей, а материальный ущерб ограничен. Отказ здания или сооружения может наступить по многим предельным состояниям.

Классификация предельных состояний (Д. Аугусти; А. Баратта; Ф. Каиасти, 1988). Абсолютные предельные состояния:

- ПС.А1 Потеря равновесия положения конструкции или её части как жёсткого тела (например, опрокидывание подпорной стенки);
- ПС.А2 Местное хрупкое разрушение в ограниченном объёме или сечении конструкции (например, предварительно напряжённой);
- ПС.А2* Чрезмерное деформирование (например, может произойти со сравнительно гибкой конструкцией, если расчёт выполнять по недеформированной схеме);
- ПС.А3 Достижение предела пропорциональности материала в некоторых точках конструкции (для конструкций, выполненных не из хрупких материалов, это предельное состояние является условием и применяется тогда, когда хотят ограничиться простым расчётом конструкции в упругой стадии);
- ПС.А4 Превращение конструкции в механизм;
- ПС.А5 Общая или местная потеря устойчивости;
- ПС.А6 Разрушение от усталости материала при многократном нагружении (обычно при эксплуатационных нагрузках, например в мостах).

Функциональные предельные состояния (3-й группы):

- ПС.Ф1 Деформирование конструкции, отрицательно влияющее на её внешний вид и эффективность использования;
- ПС.Ф2 Местные повреждения, которые могут вызвать коррозию конструкции или потребовать специальных мер по её содержанию;
- ПС.Ф3 Вибрации (например, вследствие порывов ветра или движения механизмов), которые могут вызвать дискомфорт или тревогу.

Предельные состояния могут быть отнесены к зданиям, сооружениям, конструкциям, сечениям, узловым соединениям, системам (основания–фундаменты–здание).

Подчеркнём ещё мнение Г. Шпете о роли человеческого фактора: низкий уровень знаний, ошибочные действия из-за халатности, попустительства, безответственности; отсутствие профессиональной интуиции.

Шпете Г. разработана механическая модель для описания предельных состояний с помощью величин, допускающих их прямое измерение или наблюдение. Их называют базисными переменными x – это нагрузки, свойства материалов и грунтов, геометрические данные.

Совокупность базисных переменных представляет случайный вектор

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_m \end{pmatrix}.$$

При рассмотрении в трёхмерном пространстве каждая точка x этого пространства есть одна реализация случайного вектора X .

Уравнение предельного состояния имеет вид

$$q(x_1, x_2, \dots, x_m) = 0$$

или

$$q(\dots, x_i R_i, \dots, x_j S_j, \dots) = 0,$$

где x_i, x_j – базисные переменные (индексы i и j принимают значения от 1 до m); $x_i R_i$ – базисные переменные, определяющие несущую способность, а $x_j S_j$ – внешние воздействия.

Анализ метода предельных состояний (В. Д. Райзер, 2010). Предельные состояния – это состояния, при которых конструкция, основание, здание или сооружение перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям или требованиям при производстве работ.

По формулировке В. Д. Райзера условие превышения предельного состояния имеет вид

$$g(a_i F_p, b_i R_p, \gamma_n, \gamma_a, \gamma_d, C) \geq 0;$$

– для первой группы предельных состояний (усилия в конструкциях не должны превышать несущей способности)

$$\gamma_n g_F(a_i F_p, \gamma_a, \gamma_d) \leq g_R(b_i R_p);$$

– для второй (прогиб, угол поворота, раскрытие трещин и т.п. должны быть меньше предельно допустимых величин)

$$\gamma_n g(a_i F_p, b_i R_p, \gamma_a, \gamma_d) \leq C,$$

где F_p – расчётное значение нагрузки; $a_i F_p$ – нагрузочный эффект (усилия, напряжения, деформация, перемещения и т.п.); a_i – функция геометрических и физических параметров конструкций; $F_p = \gamma_f F_n$; γ_f – коэффициент надёжности по нагрузке; F_n – нормативное значение нагрузки; R_p – расчётное значение сопротивления материала; $b_i R_p$ – несущая способность конструкции; $R_p = R_n / \gamma_m$; γ_m – коэффициент надёжности по материалу; R_n – нормативное значение сопротивления материала; γ_n – коэффициент надёжности по назначению; γ_d – коэффициент условий работы; γ_a – коэффициент точности; C – постоянные, учитывающие ограничения для некоторых видов предельных состояний.

2.2. ГРУППЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАДЁЖНОСТИ

Частные коэффициенты надёжности в методе предельных состояний. Обратимся к формулировкам Г. Шпете. Принимают пять типов этих коэффициентов надёжности:

- по назначению γ_n , учитывает социальные и экономические последствия отказов, определяет сроки службы объектов;
- по нагрузке γ_f , учитывает изменчивость нагрузок;
- сочетаний нагрузок Ψ , учитывает малую вероятность одновременно появления наибольших величин разных нагрузок;
- по материалу γ_m , учитывает изменчивость свойств строительных материалов и нагрузок;
- условий работы γ_d учитывает неточности расчётной модели.

Коэффициенты условий работы γ_d , используется при проектировании для снижения расчётных усилий, полученных в результате линейного анализа в целях учёта нелинейного поведения сооружения, обусловленного особенностями материала, конструктивной системой и принятой методикой проектирования. Например, коэффициенты условий работы бетона учитывают особенности свойств бетона, длительность действия и многократную повторяемость нагрузки, условия и стадию работы конструкции, способ её изготовления, размеры сечения и т.п.

По отношению к нагрузкам коэффициенты вводятся в виде множителей, а к материалу – в виде делителей.

2.3. ОТКАЗЫ В ОБЛАСТИ БЕЗОТКАЗНЫХ РАБОТ

Отказом называют выход за предельные состояния.

Срок службы сооружения (время от начала эксплуатации до настоящего отказа) является случайной величиной с плотностью и функцией распределения.

Плотность отказов $h_t(t)$ является характеристикой надёжности во времени t (рис. 2.2).

В фазе I существования объекта наиболее часто отказы происходят из-за низкого качества работ и материалов.

Во II фазе плотность отказов относительно постоянна и отказы чаще всего вызываются перегрузками.

В III фазе плотность отказов возрастает за счёт снижения во времени сопротивления конструкции вследствие процессов целостности, старения или коррозии.

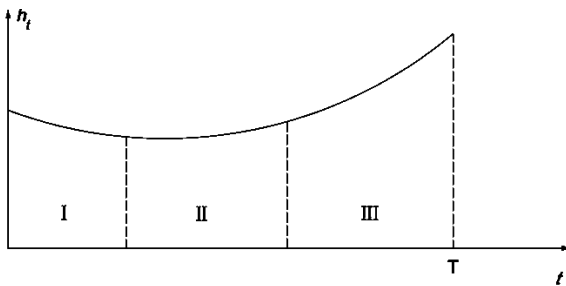


Рис. 2.2. Характерный график плотности отказов

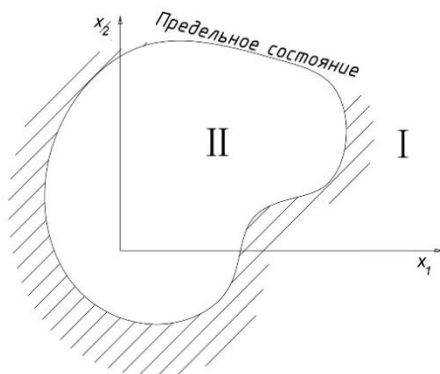


Рис. 2.3. К определению предельного состояния в пространстве базисных переменных:
 I – область отказа; II – область безотказной работы

Главным качеством, устанавливающим надёжность строительных конструкций, зданий и сооружений, в целом является безотказность их работы – способность нормально выполнять свои функции за всё время эксплуатации (работы).

Геометрически предельное состояние представляет собой поверхность безопасной области (рис. 2.3).

2.4. ПРЕДЕЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ

Обстоятельную информацию по этому вопросу можно найти в книге Г. Шпете (1994), в которой автор утверждает, что система может отказать по n различным состояниям. Рассматривают два основных типа систем, с последовательным соединением элементов и с параллельным. В первом случае система отказывает тогда, когда будет превзойдено какое-либо из n предельных состояний, т.е. $q_1(x) < 0$ или $q_2(x) < 0, \dots$, или $q_n(x) < 0$.

Во втором случае система отказывает, если будут превзойдены все n предельные состояния, т.е. $q_1(x) < 0$ и $q_2(x) < 0, \dots$, и $q_n(x) < 0$.

Большинство систем ведут себя как системы последовательно соединённых элементов. Это – статически определимые системы. Параллельные соединения элементов по теории надёжности имеют место в статически неопределимых системах.

Для сложных конструктивных систем вероятность безотказной работы при последовательном соединении элементов:

$$P_m = \prod_{i=1}^m P_i;$$

при параллельном

$$P_m = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i),$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Надёжность металлических конструкций (С. О. Пичугин, 2011). Рассмотрим схему оценки надёжности жёсткого соединения базы (башмака) сплошной колонны с фундаментом. Возможны следующие разновидности отказов:

- возникновение шарнира пластичности в опорном сечении;
- разрушение бетона под опорной плитой базы;
- разрушение опорной плиты базы колонны вследствие изгиба на различных участках под действием отпора бетона;
- разрушение сварных швов крепления траверс базы к полкам колонны;
- переход в пластическую стадию или разрушение траверс по наиболее нагруженному сечению;
- разрушение или выдёргивание анкерных болтов из тела фундамента.

Формула условия безотказной работы узла

$$y(x_1, x_2, \dots, x_6) = x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6.$$

С учётом тесной корреляционной связи отказов 1, 3 и 5 вероятность безотказной работы базы (башмака) колонны равна

$$P_c = \min(P_1, P_2) \min(P_3, P_4, P_5) P_6.$$

Вероятность появления шарнира пластичности в заделке колонны

$$Q_{III} = Q_I \min(P_3, P_5) P_2 P_4 (1 - Q_6 Q_{61}).$$

Расчёт надёжности системы «сооружение–основание» (А. П. Пшеничкин, 2010). Этапами расчёта являются:

- вероятностное задание внешних воздействий в виде нагрузок и поверхностей деформирования основания;
- выбор расчётной схемы статической системы;
- вероятностное решение системы;
- оценка надёжности системы.

Пусть T – срок службы системы. Вероятность безотказной работы за время t (функция надёжности):

$$P(t) = P[T < t].$$

Вероятность отказа

$$p'(t) = P[T > t].$$

Характеристика надёжности $\lambda(t)$ (опасность отказа)

$$\lambda(t) = -\frac{p'(t)}{P(t)}.$$

Отсюда

$$P(t) = \exp \left[-\int_0^t \lambda(t) dt \right].$$

Вероятность безотказной работы системы в интервале $[t_1; t_2]$

$$P(t_1, t_2) = \exp \left[- \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \right].$$

Функция надёжности для нормального сечения

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{t-T_0}{\delta}}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx.$$

Среднее время безотказной работы системы

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} P(t) dx = \frac{1}{\lambda} \left(1 - e^{-\lambda T + \frac{\lambda^2 \delta^2}{2}} \right).$$

Расчёт системы «здание–основание» по второй группе предельных состояний выполняется с заданной надёжностью. Функция надёжности всей системы определяется как производная функции надёжности элементов:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t).$$

Вероятностный расчёт фундаментных балок и плит конечной длины на линейно-деформируемом неоднородном стохастическом полупространстве с учётом фактора времени (А. П. Пиеничкин, 2010). Дифференциальное уравнение изотропной плиты на упругом основании с постоянным коэффициентом жёсткости

$$\nabla^2 \nabla^2 W = \frac{\bar{q} - \bar{z}}{D},$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$, $z = C_3 W$, $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$.

Потенциальная энергия деформирования

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \int_0^B \left\{ [\nabla^2 E(x, y)]^2 + C_3 D W^2(x, y) + 2(1 - \nu) \left[\left(\frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial x^2} \frac{\partial^2 W(x, y)}{\partial y^2} \right] \right\} dx dy.$$

Потенциальная энергия воздействий

$$V = \frac{1}{2} \int_0^L \int_0^B \left\{ P(x, y) W(x, y) dx dy + \theta \left[M(s) \frac{\partial W(x, y)}{\partial n} - Q(s) W(x, y) \right] \right\} ds.$$

2.5. ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ РАЗРУШЕНИЕ

В строительном проектировании рассматриваются три типа параметров:

- входные (нагрузки, воздействия);
- системы (характеристики конструкций, иногда и технологические);
- выходные (реакции конструкций).

Первые два считают исходными данными, третий – решением задачи.

Параметры системы применительно к строительным конструкциям могут быть механическими (модуль упругости, предел текучести, временное сопротивление, характеристики упрочнения) и геометрическими (начальные размеры и несовершенства, положение арматурных стержней).

Параметр, обладающий неопределённостью, называют случайным или случайной величиной, если он не изменяется во времени, и случайным или стохастическим процессом, если он зависит от времени или от любого другого параметра.

Случайная величина – частный случай случайного процесса. Параметры с пренебрежительно малой неопределённостью называют детерминированными.

После того как определена реакция конструктивной системы, она оценивается с точки зрения несущей способности и надёжности.

Конструкция оказывается в предельном состоянии тогда, когда какой-либо параметр достигает порогового значения. Возможно наступление нескольких предельных состояний (например, недопустимые перемещения и трещины, пластические разрушения и т.д.). Работоспособность конструктивных систем часто определяется состоянием её слабого звена.

Рассмотрим теоремы о работоспособности и прогрессирующем разрушении. Статическая теорема о приспособляемости утверждает, что конструкции приспособляются к сложившейся ситуации и прогрессирующего разрушения не наступает (рис. 2.4).

Кинематическая теория о прогрессирующем разрушении утверждает, что это разрушение наступит, если существует такой пластический механизм, при котором работа внутренних максимальных упругих напряжений превышает энергию внутренних напряжений, равных пределу текучести.

Проблема обеспечения безопасности зданий и сооружений стала особенно актуальной в последние годы. Аварии объектов капитального строительства приводят к существенным экономическим потерям и человеческим жертвам.

Аварийные разрушения зданий и сооружений происходят как в России, так и в других странах.

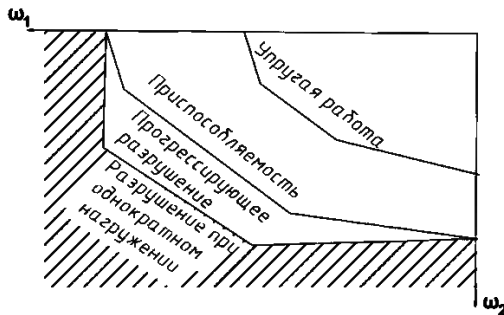


Рис. 2.4. Области приспособляемости и разрушения для рамы при детерминированной прочности в пространстве от нагрузок ω_1 и ω_2 (Г. Аугусти и др., 1988)

За период с 1981 по 2003 год установлено, что 85% аварий от общего количества приходится на эксплуатируемые здания и сооружения. Основными причинами аварий, как показывает анализ, являются грубейшие нарушения правил технической эксплуатации зданий и сооружений.

Наиболее вероятными причинами этих разрушений являются:

- недостатки и ошибки проектных решений;
- нарушение технологии изготовления конструкций и низкое качество выполнения строительного-монтажных работ при возведении зданий и сооружений;
- использование некачественных материалов;
- нарушение условий транспортировки и хранения;
- упрощения и нарушения правил эксплуатации сооружения;
- недостатки норм проектирования, правил изготовления и монтажа конструкций;
- локальное аварийное воздействие.

Проблема прогрессирующего разрушения рассматривалась А. В. Перельмутером и В. И. Сливкером (2011). В качестве примеров приведены следующие:

- 22-этажный панельный жилой дом RonanPoint в Лондоне в 1968 г.; причиной явился взрыв газа на 18-м этаже, в результате чего была утрачена опора для вышележащих этажей; произошёл срез всех перекрытий;
- Башни центра мировой торговли в Нью-Йорке в 1993 г.; теракт.

После случая в Лондоне в строительные нормы Великобритании были введены требования обязательного учёта воздействий, вызываемых непропорциональными местными отказами. В США подобные рекомендации были включены в Нью-Йоркские «Строительные нормы и правила» в 1973 г. Начиная со взрыва в Центре международной торговли в 1993 г., была признана опасность террористических нападений на здания и сооружения, ситуация усугублялась последующими терактами (Оклахома Сити в 1995 г., Саудовская Аравия в 1996 г., американские посольства в Кении и Танзании в 1998 г., а также обрушение башен ВТЦ в Нью-Йорке 11 сентября 2001 г.). Эти нападения привели к ужесточению американских строительных норм в части защиты зданий от лавинообразного обрушения, необходимости учёта потенциальной угрозы террористического нападения и разработки проектных мероприятий по ограничению последствий. В европейские и американские строительные нормы были включены требования по недопущению прогрессирующего обрушения.

В России этим вопросом занимаются специалисты МНИИТЭП, ЦНИИЭП жилища, НИИЖБ им. А. А. Гвоздева, НИУ МГСУ, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко и другие научные коллективы.

Исследования в области прогрессирующего разрушения проводили В. О. Алмазов, П. Г. Еремеев, К. И. Еремин, А. Г. Тамразян, О. Г. Мкртычев, Б. С. Расторгуев, В. М. Ройтман, А. В. Перельмутер и др.

Лекция 3 КОНСТРУКЦИИ И КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

3.1. НЕСУЩИЕ СИСТЕМЫ

Рассмотрим классификацию несущих систем по Х. Энгелю:

- активные по форме – это системы из гибкой, не жёсткой материи, в которых изменение направления сил происходит благодаря приданию им подходящей формы и стабилизации характерной формы (вантовые, тентовые, пневматические, арочные) (рис. 3.1);

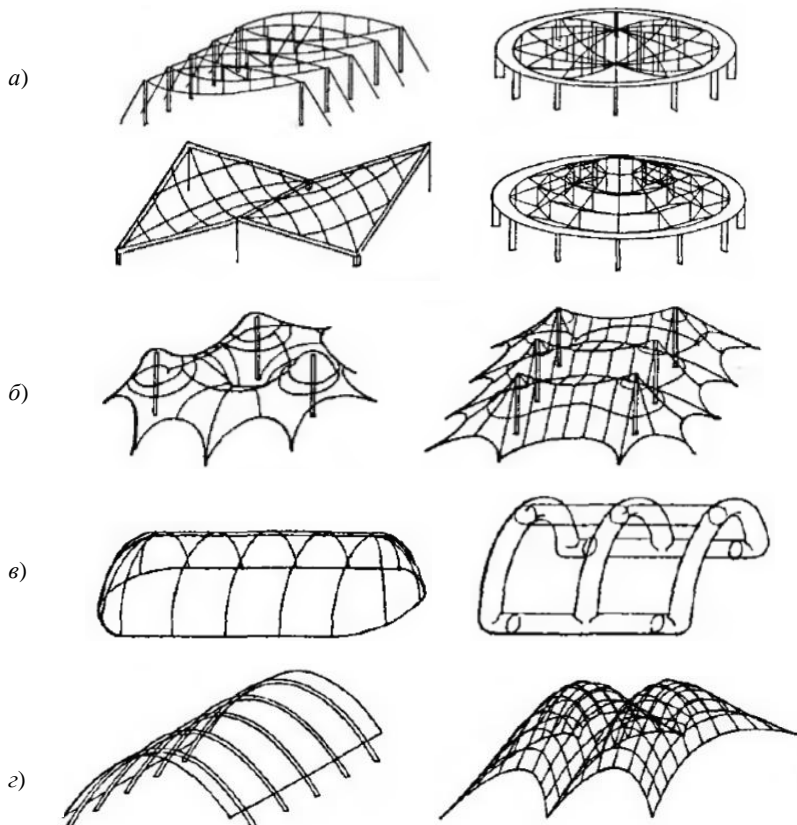


Рис. 3.1. Примеры несущих систем активных по форме:
a – вантовые (параллельные, радиальные, двухосные, фермы); *б* – тентовые (шатёр, волнистые); *в* – пневматические (воздухоопорные, пневмокаркасные);
г – арочные (линейные арки, опорные решётки)

- активные по вектору – это системы из коротких, жёстких, прямых линейных элементов (стержней), в которых изменение направления сил происходит посредством нужного векторного деления (плоская решётчатая ферма, переносной плоский каркас, изогнутый каркас, пространственный каркас) (рис. 3.2);

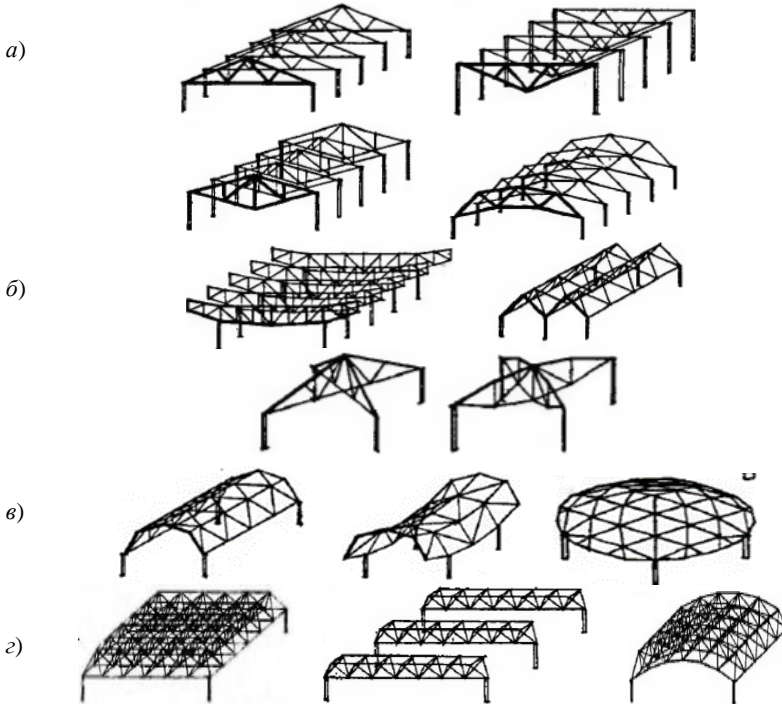


Рис. 3.2. Примеры несущих систем активных по вектору:

a – плоская решетчатая ферма с верхним или нижним поясом, с двойным поясом, надстроенная; *б* – переносной плоский каркас (линейный, складчатый, перекрестный); *в* – изогнутый каркас (цилиндрический, седловидный, сферический); *г* – пространственный каркас (плоский, линейный, изогнутый)

- активные по сечению – это системы из жёстких, массивных линейных элементов, включая их уплотнение в виде панели, в которых изменение направления сил происходит за счёт мобилизации срезающих сил (балочная, рамная, перекрёстно-балочная) (рис. 3.3);

- активные по поверхности – это системы из деформируемых на изгиб, но жёстких на сжатие, растяжение и срез поверхностей, в которых изменение направления сил происходит благодаря сопротивлению поверхности и нужной формы поверхности (пластинчатая, складчатая, оболочечная конструкция) (рис. 3.4);

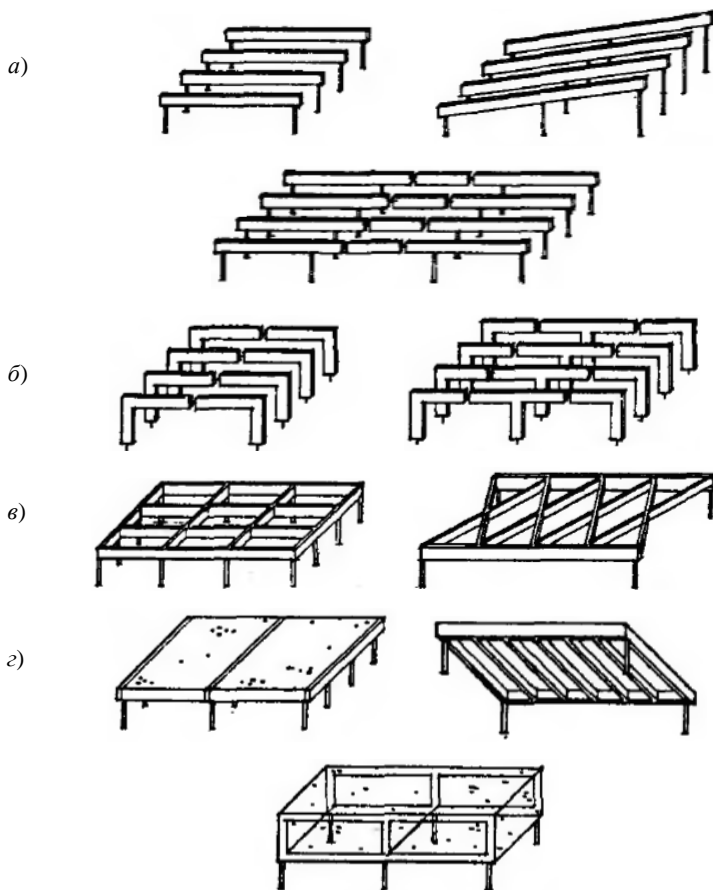


Рис. 3.3. Примеры несущих систем активных по сечению:

а – балки; *б* – рамы (однопролётные, многопролётные); *в* – решётки из балок (гомогенные, ступенчатые); *г* – панели (одинаковые, ребристые, панели-рамы)

- активные по высоте – это системы, в которых изменения направления сил определяются высотой (растровые высотные сооружения, высотные сооружения с оболочкой, стальные высотные сооружения, пролётные высотные сооружения) (рис. 3.5);

- гибридные – это системы, в которых изменение направления сил происходит благодаря взаимодействию двух или более конструкций из различных «семейств» несущих конструкций, принципиально стоящих в одном ряду по своей несущей функции (параллельные, последовательные, перекрёстные соединения различных видов несущих конструкций, сложенных в единую систему) (рис. 3.6).

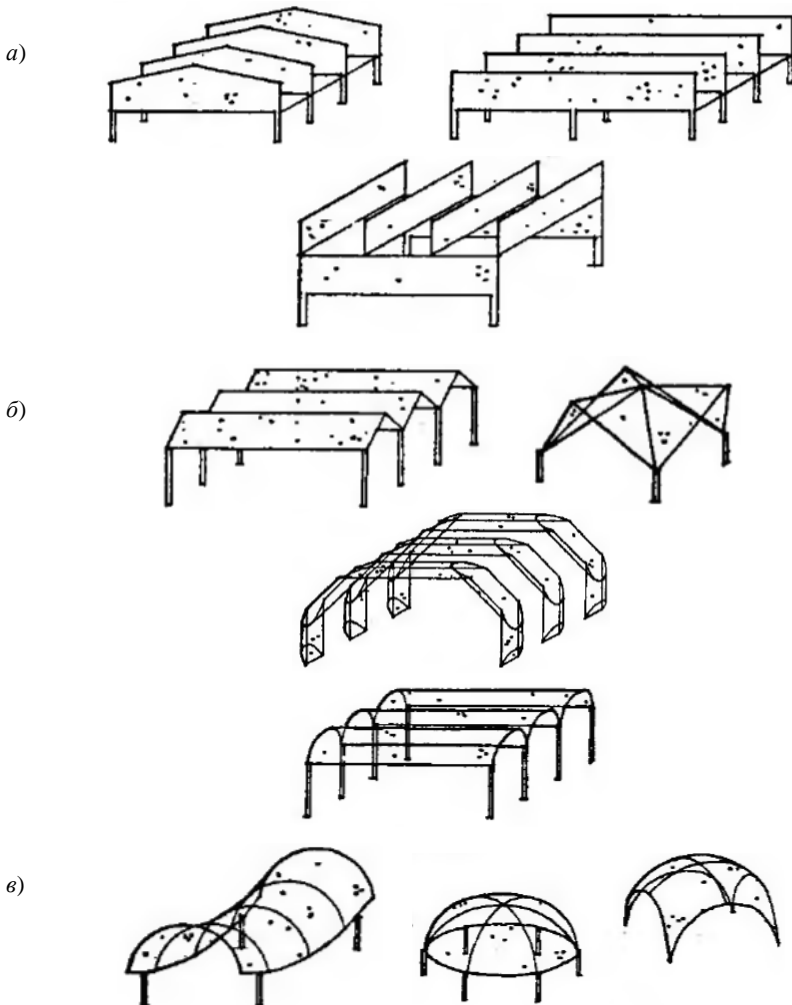


Рис. 3.4. Примеры несущих систем активных по поверхности:

a – пластинчатая (однопролётные, неразрезные, перекрещивающиеся складчатые);
б – складчатая (одноосные, линейные, перекрещивающиеся.); *в* – оболочечные конструкции (цилиндрические, седловидные, куполообразные)

Несущие системы подразделяют на линейные, поверхностные и объёмные. Применяют следующие структурные формы: вантовая сеть, пластинчатая решётка, гиперboloид, балочная решётка, фахверковая оболочка, оболочки поверхности (цилиндрические, взаимопроникающие цилиндрические, вращения, полусферические, седловидные, параболидные, композиции других).

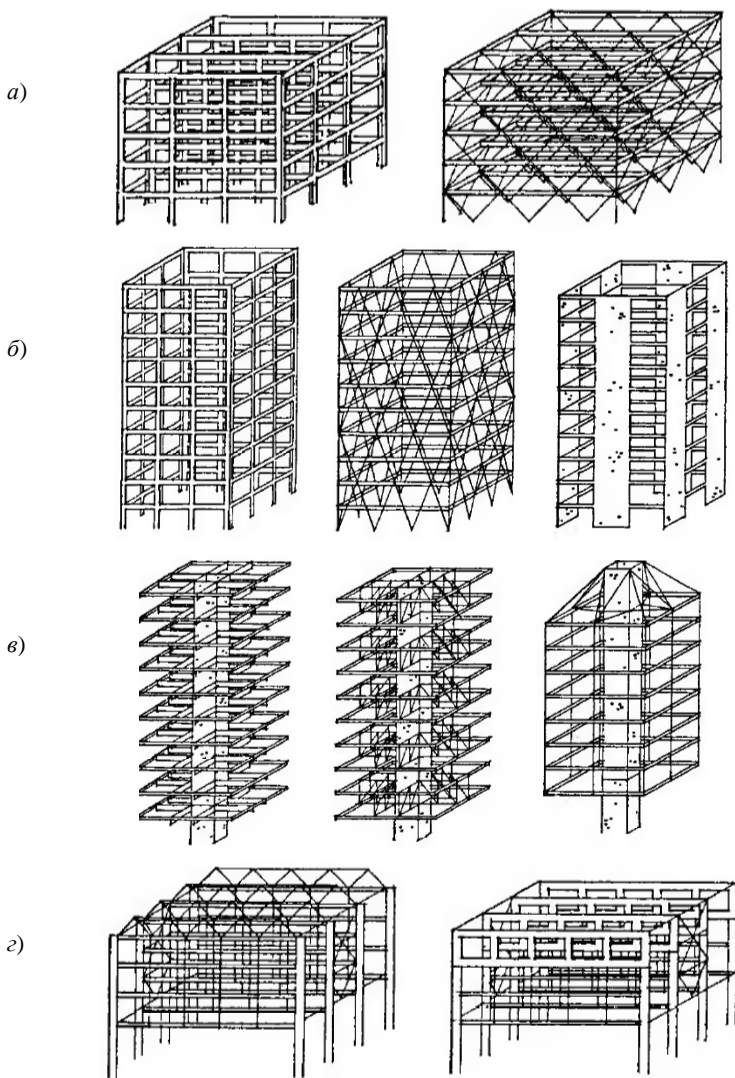
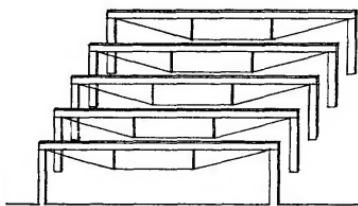


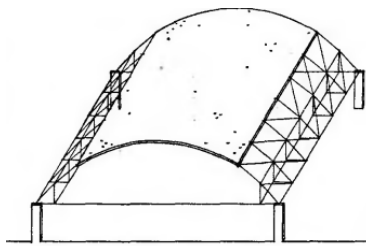
Рис. 3.5. Примеры несущих систем, активных по высоте:
а – растр (рамный, фахверковый); *б* – оболочка (рама-оболочка, фахверк-оболочка, из стабилизирующих опор, пластина-оболочка); *в* – ствол (консольный, под косвенной нагрузкой); *г* – мост

Дополнительные сведения по формообразованию пространственных покрытий можно найти в работах Ю. А. Дыховичного.

Теория оболочек изложена в трудах С. П. Тимошенко, В. В. Власова, В. И. Колчунова и др.



Балка с нижней затяжкой: наложение активных по СЕЧЕНИЮ и ФОРМЕ систем



свод-оболочка с решетчатым сегментом: сопряжение

Рис. 3.6. Примеры гибридных несущих конструкций

Предварительно напряжённые системы элементов конструкций (А. А. Воеводин, 1989). Это такие системы, в которых отдельным или всем элементам сообщается предварительное (начальное, монтажное) напряжение. Вследствие этого повышается несущая способность системы, уменьшается её деформативность от внешней нагрузки, наиболее полно используется материал напряжённых элементов, расширяется область работы системы в упругой стадии, придаётся конструкции необходимая форма в соответствии с условиями эксплуатации.

3.2. ОСНОВНЫЕ НЕСУЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Рассмотрим некоторые положения из работы выдающегося немецкого учёного, архитектора, инженера Хайно Энгеля. Он создал основы оригинального пути к использованию формообразующих возможностей несущих конструкций.

Принцип работы обосновывается с помощью четырёх последовательных аргументов:

1. Цель архитектуры, как прежде, так и теперь – это формирование пространства для жизни и деятельности человека; происходит это посредством формообразования материи.

2. Материальная форма подвергается воздействию сил, которые угрожают её существованию и тем самым подвергают опасности смысл и цель этого существования.

3. Угроза предотвращается, если действующие силы отводятся в направлениях, которые не вредят форме и пространству.

4. Механизм, который это осуществляет, называется несущей конструкцией: отведение сил является актуальностью и сущностью несущей конструкции.

Всё вышесказанное является ключом к раскрытию общих принципов существующих и возможных несущих конструкций для творческой деятельности планировщиков, архитекторов, инженеров-строителей. Теория систем несущих конструкций, основанная на их основополагающей функции – отводить силы – наглядно доводит это до сознания через признаки системы:

- механический принцип действия;
- законы формы и пространства;
- формообразующий потенциал.

Задача несущих конструкций в природе и технике – не только контролировать собственный вес объекта, но и воспринимать дополнительные нагрузки (силы). Этот процесс называется сопротивлением.

Существенным в процессе сопротивления является не легко представляемое действие восприятия нагрузки, а протекающий внутри процесс передачи нагрузки. Без способности распределять и отдавать нагрузку тело не может нести собственный вес и уж тем более посторонние нагрузки.

Несущая конструкция работает в трёх последовательных фазах:

- 1) восприятие нагрузки;
- 2) распределение нагрузки;
- 3) передача нагрузки.

Этот процесс называется работой конструкции. Он является основополагающей предпосылкой для проектирования несущей конструкции, её основной идеей. Как путь распределения сил он также является критерием экономичности несущей конструкции.

3.3. НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

Воздействия на здания:

- внешние: радиация, температура, воздушный поток, ветер, осадки, газы, химические вещества, грозовые разряды, радио- и электромагнитные волны, звуковые колебания, биологические вредители; осадки, вызванные проходкой тоннелей;
- внутренние: нагрузки (постоянные, временные длительные и кратковременные), технологические (динамические, истирание), колебания температуры и влажности, биологические вредители;
- на фундаментах: колебания температуры и влажности грунтов, уровень грунтовых вод, блуждающие токи; морозное пучение, вибрация и сейсмика, агрессивные вещества, возрастание неравномерности осадков при аварийных ситуациях.

Различают *нагрузки* по:

- виду (постоянные, временные, особые);
- времени воздействия (постоянные, временные, длительные, кратковременные);
- источникам возникновения (веса сооружения, несущих и ограждающих конструкций, грунта, оборудования, складированных материалов, производственной пыли; климатические и техногенные: снег, ветер, обвалы, цунами, гололёд, сейсмические, пожары, взрывы; от подвижного подъёмно-

транспортного оборудования; коренные изменения структуры грунта; резкое нарушение технологического процесса; ползучесть, набухание, усадка).

Нагрузки и воздействия на грунтовые основания, несущие строительные конструкции, здания и сооружения. Подробную информацию можно найти в многочисленной литературе, например в СП 20.13330.2016; Ю. А. Дыховичный, В. И. Колчунов (2011) и др.

На фундаменты и основания действуют нагрузки: постоянные (от собственного веса, всплывтия, давления грунтов, предварительного напряжения), временные (длительные, кратковременные, особые); основные сочетания нагрузок (постоянные, длительные, кратковременные и одна из особых нагрузок).

Кроме того, учитывают нагрузки, полезные во времени; технологические от веса материалов, галерей, транспортёров, аппаратов, пыли и др.; атмосферные (снег, ветер, перепад температуры); от неравномерных деформаций в конструкциях; аварийные (случайные удары машин, грузов, трубопроводов, взрывы, обрушение элементов; температурные от пожаров, излучателей тепла и холода); неравномерного перемещения фундаментов или их частей при просадках, набухании, дополнительные при уменьшении площади подошвы фундаментов, например при разрушении бетона коррозией; нагрузки при изготовлении, перевозке, складировании и др.; от колебаний системы основание–фундамент–здание, вызванных движением машин, механизмов, ударов молота, прорывами воды, землетрясениями, обвалами и др.; аэродинамические нагрузки на сооружения в потоке воздуха (наиболее опасными видами колебаний мостов являются крутильные и изгибокрутильные флаттеры). Расчёт сооружений башенного типа выполняют на вынужденные колебания вдоль потока, вызванные порывистостью, турбулентными пульсациями ветра, и поперёк на ветровой резонанс и галопирование.

К другим определениям нагрузки относят: фактическую, нормативную, расчётную, полезную, допускаемую, предельную, моментную, объёмную, опасную, периодическую, поверхностную, сосредоточенную, случайную, регулярную, особую, фиктивную, одно- и двухпараметрическую, подвижную, от оледенения, ступенчато-возрастающую, знакопеременную. По интенсивности постоянную (статическую) и переменную, квазистатическую.

К примеру, на пролётные строения мостов действуют нагрузки (П. М. Саламахин, 2011):

- постоянные при проектировании мостов (собственный вес пролётных строений и опор, силы предварительного натяжения, давление от веса грунта);
- временные при проектировании устойчивости мостов: вертикальные подвижные, горизонтальные поперечные от центробежной силы и боковых ударов подвижной нагрузки, горизонтальные продольные от торможения подвижной нагрузки, давления грунта, от подвижного состава;

- прочие (ветровые, снеговые, строительные, систематические от воздействия температуры среды, морозного пучения грунтов).

Аугусти Г., Баратта А., Кашиати Ф. (1998) привели следующую классификацию нагрузок:

- статические;
- динамические;
- постоянные воздействия;
- кратковременные воздействия;
- длительные воздействия;
- особые воздействия;
- фиксированные воздействия;
- свободные воздействия.

Динамические воздействия на здания и сооружения. В мире отмечается рост взрывных и динамических воздействий на строительные конструкции, здания и сооружения.

Взрывные воздействия характеризуются большой относительностью и временем действия, сопоставимым с периодом собственных колебаний. Разработаны принципы проектирования взрывоустойчивых зданий и сооружений.

Наблюдения за эксплуатацией производственных объектов показало, что самые разнообразные машины и аппараты являются источником вибраций и колебаний, приводящих к нарушению технологического процесса, преждевременному износу строительных конструкций и их отказу, болезням людей, нарушению нормальных жизненных условий для жителей, прилегающих к предприятиям территорий.

Вибрации и колебания возникают на всех этапах жизненного цикла предприятия. Недопустимые их величины являются следствием начальных дефектов механизмов, ошибок при монтаже, регулировании, ремонте, использовании некачественных исходных данных, например при перемешивании смесей, несоответствующих стандарту, систематических вытеканий растворов, биении, обвалов слежавшихся сыпучих материалов.

Для оценки последствий воздействия нагрузок с учётом особых расчётов на особые сочетания вводятся требования по живучести – обеспечение от обрушения здания или его части при внезапном разрушении отдельных элементов.

Для обеспечения нормальной эксплуатации зданий выполняется комплекс технологических и конструктивных мероприятий.

К последним относятся:

- повышение прочности и общей пространственной жёсткости зданий и сооружений, запроектированных по жёсткой или комбинированной конструктивной схеме;
- увеличение податливости зданий и сооружений с податливой конструктивной схемой за счёт применения гибких конструкций и связей между ними;
- обеспечение нормальной эксплуатации здания.

3.4. УСЛОВНЫЕ РАСЧЁТНЫЕ СХЕМЫ

Расчётная схема – упрощённая (условная) схема реального сооружения (конструкции), освобождённая от факторов (особенностей конструкции), несущественно влияющих на работу системы в целом (сущность рассматриваемых явлений), с точки зрения проводимого расчёта, позволяющая достаточно точно и просто рассчитать это сооружение (конструкцию) (достаточно полно отображая действительную работу системы).

Расчётная схема конструкции или сооружения, представленная в виде системы элементов, в которой работа каждого элемента зависит от работы остальных, называется системой.

Расчётные схемы классифицируются:

1) по геометрическому представлению (виду) элементов, образующих систему:

- *расчётные схемы стержневых сооружений (конструкций)* (например, балки, фермы, рамы, арки);
- *расчётные схемы тонкостенных (пластинчатых и оболочковых) сооружений (конструкций)*;
- *расчётные схемы массивных сооружений (конструкций)* (например, подпорные стены, каменные своды, плотины, фундаменты);

2) по расположению элементов и направлению нагрузок в пространстве:

- *плоские системы* – это системы, в которых оси всех элементов и линии действия внешних сил (нагрузки) лежат в одной плоскости;
- *пространственные системы* – это системы, оси элементов которых расположены в разных плоскостях и(или) нагрузки действуют не в плоскости сооружения (и(или) к ним приложена пространственная система сил);

3) по кинематической природе:

- *геометрически неизменяемые системы* – это системы соединённых между собой тел, не допускающие относительного перемещения её частей без их деформации;

- *геометрически изменяемые системы* – это системы, которые допускают изменение своей формы без деформации элементов, в зависимости от внешних нагрузок;

- *мгновенно-изменяемые системы* – это система, допускающая без деформации составляющих её элементов бесконечно малые относительные перемещения этих элементов (поступательные или вращательные), но лишь в течение весьма малого промежутка времени, после чего система становится неизменяемой;

- *мгновенно жёсткие системы* – это исключительный случай геометрически неизменяемой системы, при котором она допускает лишь бесконечно малые перемещения;

4) по характеру внутренних связей (по способу (типу) соединения элементов):

- с шарнирными соединениями элементов (например, шарнирно-стержневые конструкции);

- с жёсткими соединениями элементов (например, рамные конструкции);

- с комбинированными соединениями элементов;

5) по направлению опорных реакций от вертикальной нагрузки:

- *безраспорные системы* – это системы, в которых вертикальные нагрузки вызывают только вертикальные опорные реакции;

- *распорные системы* – это системы, в которых вертикальные нагрузки (вертикальные внешние силы) вызывают наклонные опорные реакции, горизонтальные составляющие которых называют распором (например, арки, рамы, арочные и вантовые фермы);

6) по признаку статической неопределимости (по признаку закрепления опор):

- *статически определимые системы* – геометрически неизменяемая система, для определения внутренних сил в элементах которой, а также в её опорных связях достаточно только уравнений равновесия статики;

- *статически неопределимые системы* – геометрически неизменяемая система, внутренние силы в элементах которой, а также в её опорных связях могут быть рассчитаны только с помощью совместного рассмотрения уравнений (условий) равновесия статики и уравнений (условий), характеризующих (учитывающих) деформацию данной системы;

7) по характеру зависимости между нагрузками и перемещениями:

- *линейные системы* – это системы, в которых внутренние усилия, напряжения, деформации и перемещения прямо пропорциональны вызывающей их нагрузке;

- *нелинейные* (нелинейно деформируемые) системы – это системы, в которых зависимость между нагрузками (напряжениями) и перемещениями (деформациями) не прямо пропорциональна (нелинейная).

При формировании расчётной схемы в схеме сооружения производят замену:

- стержни заменяются их центральными линиями (осями центров тяжести сечений) (осевыми линиями);

- пластины заменяются их срединными поверхностями;

- поперечные сечения стержней и нормальные к срединной поверхности сечения пластин независимо от их формы характеризуют в общем виде численными значениями площадей и моментов инерции;

- реальные опорные устройства заменяются идеальными опорными связями;

- шарниры полагаются идеальными (в которых отсутствует трение);

- нагрузки на поверхности элементов переносятся на оси или срединные поверхности, усилия на элементы принимаются через центры шарниров;

- и т.п.

3.5. РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ В НЕСУЩИХ СИСТЕМАХ

В настоящее время во многих случаях применяется искусственное регулирование усилий в строительных конструкциях.

Регулирование заключается в том, что в конструкции тем или иным способом искусственно создаются начальные постоянно действующие усилия, обратные по знаку тем, которые возникают от эксплуатационных нагрузок. Напряжения в элементах от эксплуатационной нагрузки суммируются с напряжениями от начальных усилий и могут быть существенно снижены. При этом открываются весьма плодотворные возможности создания наиболее эффективных конструкций.

За счёт *искусственного регулирования усилий* удаётся повысить несущую способность неравнопрочной системы.

В современной практике регулирование усилий достигается разнообразными приёмами: специальным порядком монтажа, введением конструкции в работу по этапам с изменением при этом статической схемы, пригрузом на определённых участках, повышением или понижением уровня опор, методами предварительного напряжения с использованием высокопрочных металлов и др.

Искусственное регулирование напряжений может быть выполнено как без специальных устройств, так и с их применением.

Регулирование без применения специальных устройств: используется большей частью при усилении разгрузочных и демонтированных конструкций, если они усиливаются преднапряжёнными элементами.

Разгрузка усиливаемого элемента может быть достигнуто путём перемещения нагрузки из одного пролёта в другой, определёнными комбинациями загрузки соседних пролётов в неразрезных и консольных балках и фермах.

Если не предусмотреть специальных мер при усилении конструкций под нагрузкой, то на усиливающие элементы будет передаваться только дополнительная и возрастающая постоянная нагрузки. Вся же нагрузка, действующая в момент усиления, будет восприниматься неусиленной конструкцией.

Регулирование с использованием специальных устройств и приспособлений. Если усиливаемая конструкция находится под нагрузкой и работает на изгиб, то приходится принимать меры по уменьшению или устранению прогиба, полученного ею при работе под действием собственного веса и временной нагрузки. Могут встретиться следующие случаи:

- конструкция усиления должна будет воспринимать только свой собственный вес и существующую временную нагрузку. В этом случае элементы усиления могут быть присоединены без принятия мер по разгрузке конструкции. Уменьшать или устранять прогиб конструкции нет необходимости;
- конструкция усиления, кроме своего собственного веса и существующей временной нагрузки, должна будет воспринимать также и часть дополнительной нагрузки. В этом случае до её усиления необходимо уменьшить полученный ею до усиления прогиб;

- конструкция усиления, помимо собственного веса и временной нагрузки, должна будет воспринимать всю дополнительную нагрузку. В этом случае до усиления нужно полностью устранить прогиб в усиливаемой конструкции, имеющейся от действия нагрузок в момент усиления.

3.6. ТОЧЕЧНАЯ ЗАСТРОЙКА В ГОРОДАХ

Строительство в условиях плотной городской застройки распространённое явление в современном мире. Такие условия возведения зданий и сооружений имеют целый ряд трудностей для строительства, связанных с ограниченной площадью строительной площадки. Так же всё чаще новые объекты имеют развитое подземное пространство, что зачастую оказывает неблагоприятное воздействие на эксплуатационные показатели на близлежащие здания и сооружения, которые нередко имеют хозяйственную и культурную ценность.

Точечную застройку можно охарактеризовать как некое отклонение от общего градостроительного плана, как возведение объектов на территории уже существующей застройки, на земельных участках, которые могут вместить ту или иную строительную продукцию. Точечную застройку также можно разделить на два типа:

1) строительство нового объекта, не предусмотренного ранее градостроительным планом, в исторически сложившемся жилом квартале (в этом случае строительство ведётся обычно на территории парка или сквера);

2) строительство нового объекта в исторически сложившемся квартале на участке, отведённом ранее для строительства объекта иного назначения.

При проектировании и строительстве необходимо учитывать:

- высокую изношенность городских подземных сетей, достигающую 70%, малую пропускную способность, обеспечивающую, как правило, малоэтажные ветхие жилые дома; неисправные водоотводящие системы;

- наличие домов разной этажности, капитальности, степени материального и физического износа, не отвечающих современным требованиям по многим показателям;

- низкое качество дорог, несоответствия их требованиям, в том числе, недостаточная пропускная способность;

- отсутствие объектов инфраструктуры;

- возможность значительного повреждения действующих объектов от возведения новых, например, при отрывке котлованов;

- взаимное влияние рядом построенных зданий или ошибки проектирования.

В условиях плотной городской застройки возведение зданий и сооружений осложняется ограниченностью площадей, выделенных под строительную площадку. При этом необходимо организовать эвакуационные выезды (проезды) по строительной площадке; ограждения вокруг котлована/ограничительной обноски; средства экстренного тушения пожара; навесы над пешеходными зонами вдоль строительной площадки, указателей зон проведённых работ.

Лекция 4

ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

4.1. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИЙ

Инженерно-геологическое районирование территорий – последовательное деление территории на соподчинённые части (территории единицы), характеризующиеся всё более высокой степенью однородности по инженерно-геологическим условиям.

Инженерно-геологическое районирование проводится по определённым принципам, без которых было бы невозможно сравнить и оценить всё разнообразие инженерно-геологических условий различных территорий.

Осипов В. И. с сотрудниками изучал инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городов и промышленных центров, опасные природные и техноприродные процессы, особенности дисперсных грунтов. Рекомендовано отказаться от составления универсальных табличных показателей прочности, а в каждом случае при подразделении грунтов по прочности учитывать их генезис, состав, состояние и степень однородности.

При выборе наиболее благоприятных участков для строительства необходимо включать четыре основных этапа:

- 1) идентификация опасности;
- 2) оценка уязвимости;
- 3) оценка риска;
- 4) управление риском.

Наиболее полно принципы инженерно-геологического районирования были разработаны И. В. Поповым (1961), который предложил выделять в качестве самостоятельных таксономических единиц инженерно-геологические регионы, области, районы и подрайоны разного порядка.

Инженерно-геологические регионы выделяются по структурно-тектоническому признаку. Инженерно-геологический регион первого порядка является наиболее крупной таксономической единицей. Примером инженерно-геологического региона первого порядка является Русская платформа, на которой выделяются регионы второго порядка, такие как Балтийский щит, Московская синеклиза, Воронежская антеклиза, Причерноморская впадина, Предкарпатский прогиб и др.

Попов И. В. предложил выделять инженерно-геологические области в пределах одного региона по геоморфологическим признакам. При таком подходе не надо забывать, что геоморфологические особенности территории являются результатом истории её геологического развития главным образом в новейшее время. Поэтому можно сказать, что инженерно-геологические регионы – это части регионов, имевшие различное развитие в новейшее время, что нашло отражение, в частности, в их геоморфологических особенностях.

Инженерно-геологические области могут выделяться непосредственно при подразделении инженерно-геологических регионов первого порядка (когда они достаточно однородны в геоструктурном отношении) и в этом случае охватывают огромные территории. Примером в этом отношении является Западно-Сибирская плита. Если развитие территории в новейшее время было неодинаковым, то при более детальном её рассмотрении могут выделяться инженерно-геологические области разного порядка: не только первого, но второго и даже третьего порядка.

В инженерно-геологических областях выделяются инженерно-геологические районы, на территории которых отмечается однообразие геологического строения, выражающееся в одинаковой последовательности залегания горных пород, их мощности и петрографическом составе. Такие сравнительно небольшие территории могут образоваться при условии, что они испытывали на всей своей площади строго одинаковые по знаку и интенсивности тектонические движения и находились в строго одинаковых палеоклиматических условиях на протяжении их истории развития, выходящей за пределы новейшего этапа геологического развития Земли.

В пределах одного инженерно-геологического района могут быть выделены инженерно-геологические подрайоны, если в этом возникает необходимость, по различному состоянию пород, проявлению современных и древних геологических процессов и т.д. Например, если в пределах одного инженерно-геологического района окажется оползневой склон на значительном протяжении береговой линии, то в этом случае может возникнуть необходимость выделения двух инженерно-геологических подрайонов.

При крупномасштабном инженерно-геологическом изучении территории внутри подрайонов выделяются инженерно-геологические участки, в пределах которых в свою очередь могут быть выделены инженерно-геологические элементы.

Изложенные принципы выделения различных таксономических единиц при инженерно-геологическом районировании базируются на региональных инженерно-геологических факторах. При такой системе зональные инженерно-геологические факторы учитываются на разных уровнях. Для Западно-Сибирской плиты наличие зон различной степени тепло- и влагообеспеченности может учитываться, начиная от высшего уровня – при общей инженерно-геологической характеристике Западно-Сибирской плиты как региона первого порядка и кончая одним из низших уровней – при разделении инженерно-геологических районов на подрайоны по состоянию пород.

Выделенные при инженерно-геологическом районировании таксономические единицы можно в определённой степени связать с характером горных пород, слагающих территорию. Это подчёркивает, что горные породы являются не только главным фактором при изучении геологических процессов, но и инженерно-геологических условий.

Часто возраст породы при её инженерно-геологической оценке имеет меньшее значение, чем принадлежность к той или иной формации. Поэтому

при оценке горных пород в РИГ к ним подходят с позиций учения о формациях. Геологическая формация как геологическая категория имеет большее значение при инженерно-геологической оценке территорий, чем стратиграфические элементы.

Для платформенных формаций характерны осадочные породы. Платформенные формации горных пород охватывают большие территории; их формирование проходило при сравнительно небольших амплитудах тектонических движений. В этом случае роль палеоклиматических условий была больше, чем для геосинклинальных формаций. Палеоклиматические условия сказываются на составе и свойствах платформенных формаций, которые достаточно выдержаны на больших площадях и закономерно изменяются при переходе от одной формации к другой (в случае морских отложений от прибрежной к глубоководной).

Геосинклинальные формации возникают при интенсивном прогибе земной коры, поэтому мощность отложений может быть очень большой, а осадочные породы чередуются или залегают совместно с подводными вулканогенными образованиями. Это приводит к тому, что может не быть такой выдержанности в осадконакоплении, как у платформенных формаций.

По сравнению с горными породами платформенных формаций горные породы геосинклинальных формаций характеризуются большой метаморфизованностью, большой литифицированностью и большой дислоцированностью. По своему составу и свойствам горные породы геосинклинальных формаций являются менее однородными, но более прочными. Однако при характеристике массивов пород надо иметь в виду, что разрывных нарушений у них встречается больше, чем в случае платформенных формаций.

При формировании горных пород геосинклинальных формаций роль климата снижается и увеличивается роль тектонических движений. Как правило, в строении геосинклинальных формаций принимают участие морские толщи; широкое развитие имеют вулканогенные образования.

Подразделение формаций можно провести и по преобладающему петрографическому типу слагающих их горных пород. В этом случае можно говорить о группах магматических, метаморфических и осадочных формаций. При таком подразделении мы получим в пределах одной формации большее однообразие пород в инженерно-геологическом отношении, и в то же время не будет утеряна связь «сообщества пород» с тектоникой и климатом. Так, все магматические породы имеют определённые инженерно-геологические особенности и свойства в зависимости от их генезиса. Поэтому достаточно подразделить всё разнообразие магматических пород на толщи близкого петрографического состава, чтобы получить формации, состоящие из пород, близких в инженерно-геологическом отношении. Для подразделения на формации метаморфических пород необходимо учитывать их степень метаморфизма; выделяются слабо-, средне- и сильнометаморфизованные породы. При подразделении осадочных пород необходимо учитывать их состав

в соответствии с группами, выделенными в общей классификации грунтов, и степень их литификации.

Существует определённая зависимость между положением формации в геологическом разрезе и степенью литификации и метаморфизма слагающих её пород. Поэтому при оценке горных пород в РИГ важно установить, к какому структурному этажу они относятся. Обычно степень литификации и метаморфизма горных пород увеличивается, если они принадлежат к формации, приуроченной к более низкому структурному этажу. Голодковская Г. А. (1968) на примерах Алтае-Саянской складчатой области и Сибирской платформы показала, что в пределах одного структурного этажа свойства пород каждого петрографического типа остаются относительно постоянными, но качественно изменяются при перестройке структурного плана вследствие формирования новых областей сноса и создания нового тектонического режима осадконакопления и постседиментационных процессов.

Если сопоставить изложенные представления о формациях и структурных этажах с ранее выделенными инженерно-геологическими таксономическими единицами, то между ними выявится определённая зависимость. Инженерно-геологические регионы охватывают территории, у которых в геологическом строении верхних горизонтов участвуют несколько структурных этажей, каждый из которых сложен определёнными формациями. В пределах инженерно-геологической области поверхностные отложения принадлежат к одному структурному этажу, часто к одной формации, но могут быть представлены различными геолого-генетическими комплексами пород. В инженерно-геологическом районе мы имеем дело с породами одного геолого-генетического комплекса.

4.2. ТЕКТОНИКА КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ПЛИТ

Тектонические разломы возникают вследствие непрерывного движения тектонических плит, воздействия сил тяжести. Плиты подвергаются неравномерным деформациям. В них образуются трещины, тектонические швы (разрывы) или смещение блоков горных пород вдоль активных разломов. В геопатогенных зонах (народное название) определяются всевозможные географические воздействия на живые организмы, технику и сооружения.

По мнению А. Г. Гликмана (2011), в геопатогенных разломах горные породы находятся в разрушенном состоянии. Их разрушает планетарная пульсация Земли. Период колебаний достигает нескольких минут. Амплитуда колебаний может достигать 10 см.

Тектоника плит по Дитцу – объединение концепции спрединга океанического дна, трансформных разрывов, субдукции в зонах желобов и дрейфа континентов (А. Аллесон, Д. Полмер, 1984). Выделены семь крупнейших океанических и континентальных плит: Евразийская, Африканская, Северо-Американская, Южно-Американская, Тихоокеанская, Индо-Австралийская, Антарктическая. В число более мелких входят: Аравийская (субконтинент),

Карибская, Филиппинская, Наска, Кокос и др. Плиты состоят из океанической или континентальной коры, или той и другой вместе.

Границы между плитами могут быть:

- дивергентными или границами растяжения;
- конвергентными или границами сжатия, когда плиты сталкиваются друг с другом или скользят одна под другую;
- трансформными – плиты скользят относительно друг друга по трансформным разломам.

Источниками энергии для предполагаемого конвективного течения являются:

- радиоактивность;
- тепло, выделяемое при фазовых превращениях (например, переход базальта в эклогит);
- гравитационное оседание определённых компонентов (например, опускание железа из мантии в ядро);
- тепло, выделяемое при кристаллизации железа на границе внешнего и внутреннего ядра);
- воздействие на твёрдые оболочки Земли лунных и солнечных приливов.

Тектонические плиты подвергаются неравномерным деформациям, вследствие чего возникают трещины, разрывы, смещения. Обратимся к понятиям трещин и разрывов в земной коре.

Трещины – нарушение сплошности, по которым не происходит заметного смещения, параллельного данному нарушению. Они могут быть открыты кверху или зияющими.

Разрывы – нарушение сплошности земной коры, вдоль которой происходит скольжение. Смещения могут различаться от миллиметров до многих километров. Поверхность трещины, вдоль которой происходит смещение, называют плоскостью разрыва. Смещения вдоль некоторых разрывов достигало 12 м и более за несколько минут.

Именно движение континентальных плит объясняет многие опасные геологические процессы и явления. Наиболее опасным является землетрясение.

Землетрясения – колебания (сотрясения) поверхности и недр Земли, вызываемые в основном внезапным, быстрым смещением крыльев, существующих (или вновь образующихся) тектонических разрывов; способны передаваться на большие расстояния.

Моретрясение – подводное землетрясение, возникающее во время столкновения тектонических плит на океаническом дне или недалеко от побережья. Если очаг расположен неглубоко, а магнитуда равняется 7 баллам, подводное землетрясение чрезвычайно опасно, поскольку вызывает цунами. Движение континентов связано с перемещением магмы: из-за этого континенты сталкиваются. Согласно главной теории, океанические плиты наталкиваются на плиты материковые, на стыке плит образуется источник проблем –

зоны субдукции, когда одна плита как бы подползает под другую. На этом стыке и происходят самые страшные события. Эта идея, концепция спрединга, появилась в 1960-х годах. В мантии Земли происходит конвекция (внутренний теплообмен, при котором энергия передается струями и потоками), из-за чего плиты, особенно в океаническом бассейне, могут сильно смещаться.

Сильнейшие землетрясения и цунами происходят в зонах субдукции. Например, в районе Курил в настоящее время сдвиг плит составляет порядка шести сантиметров в год, а в некоторых местах доходит до десяти. Плиты сжимаются, образуются упругие напряжения, которые постепенно накапливаются. Во время землетрясения обычно происходит сброс (разрядка) накопленной упругой энергии. Однако иногда напряжение может копиться десятки и сотни лет. Тогда произойдет очень сильное землетрясение. Подобные землетрясения вместе с цунами нередко могут иметь катастрофические последствия.

Увеличение магнитуды землетрясений лишь на одну единицу означает увеличение амплитуды колебаний в десять, а энергии – в 32 раза.

Прогноз землетрясений – предположение о том, что землетрясение определенной магнитуды произойдет в определенном месте в определенном диапазоне времени. Пока это не удастся сделать с достаточно высокой точностью. Свести ущерб от землетрясений – чрезвычайно сложная задача, требующая значительных вложений и зависящая от важности объекта и уровня риска.

4.3. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Инженерные изыскания – это производственный процесс получения, накопления и обработки инженерно-геологической информации для обеспечения строительного проектирования исходными данными об инженерно-геологических условиях района (площадки, участка, трассы).

Под инженерно-геологическими условиями понимается совокупность компонентов геологической среды, которые могут оказать влияние на проектируемые здания и сооружения (рельеф и геоморфология, геологическое строение, подземные воды, состав, состояние и свойства грунтов, опасные геологические процессы). Одной из важнейших задач инженерно-геологических изысканий является прогнозирование возможных изменений в сфере взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой.

Техническое задание на выполнение инженерно-геологических изысканий составляется Заказчиком и передается в изыскательскую организацию (СП 47.13330.2012).

В нём указываются местоположение площадки (или трассы) предполагаемого строительства, вид проектируемого сооружения, стадийность (этап) проектирования, конструктивные особенности проектируемых зданий и сооружений, намечаемый тип фундаментов (свайный, плита, ленточный), этажность, наличие мокрых технологических процессов, подвальных поме-

шений, допускаемые величины деформаций, предполагаемая нагрузка на грунты основания и другие сведения.

Для трасс коммуникаций указывается предполагаемая глубина их заложения, протяжённость, диаметр и материал трубопроводов и др.

Программа инженерно-геологических изысканий устанавливает состав, объёмы, методы и последовательность инженерно-геологических условий и стадий проектирования. При небольшом объёме намечаемых инженерно-геологических работ (несложные объекты II и III уровня ответственности, простые инженерно-геологические условия, высокая степень геологической изученности) допускается взамен программы составление технического предписания на производство изысканий.

Материалы инженерно-геологических изысканий, передаваемые заказчику в виде технического отчёта, подлежат обязательной государственной экспертизе.

Инженерные изыскания – обязательная часть для решения следующих задач:

- установления функциональных зон и определения планируемого размещения объектов при территориальном планировании;
- выделения элементов планировочной структуры территории и установления границ земельных участков, на которых предполагается расположить объекты капитального строительства, включая линейные сооружения;
- определения возможности строительства объекта;
- выбора оптимального места размещения площадок (трасс) строительства;
- принятия конструктивных и объёмно-планировочных решений;
- составления прогноза изменений природных условий;
- разработки мероприятий инженерной защиты от опасных природных процессов;
- ведения государственных информационных систем;
- обеспечения градостроительной деятельности.

Основные стадии инженерно-геологических изысканий. Различаются следующие основные стадии работ: предпроектная (она включает предынвестиционную документацию, градостроительную документацию и обоснование инвестиций в строительство) и проектная (в состав которых входят проект и рабочая документация для строительства предприятий, зданий и сооружений).

Предпроектная документация разрабатывается в целях обоснования целесообразности строительства объекта, выбора строительных площадок и направления магистральных транспортных и инженерных коммуникаций, основ генеральных схем инженерной защиты от опасных геологических процессов и др.

Основной объём инженерно-геологических изысканий выполняют на этапе обоснования инвестиций в строительство. В состав работ входит проведение инженерно-геологической съёмки на территории проектируемых

строительных объектов и трасс линейных сооружений. Проводятся буровые и горнопроходческие работы, полевые методы исследования грунтов, лабораторные исследования, стационарные наблюдения и другие виды работ.

Инженерно-геологические изыскания для разработки проекта должны обеспечить комплексное изучение инженерно-геологических условий уже выбранной площадки (участка, трассы) и прогноз их изменений при строительстве и эксплуатации объекта.

Инженерно-геологические изыскания для разработки рабочей документации проводятся на окончательно выбранной стройплощадке для отдельных зданий и сооружений в целях детализации и уточнения инженерно-геологических условий. Проходят скважины и шурфы (чаще всего по контурам и осям проектируемых зданий и сооружений), определяют расчётные показатели физико-механических свойств грунтов, выполняют полевые исследования грунтов, опытно-фильтрационные работы и геофизические исследования. Продолжают начатые на предшествующих этапах изысканий стационарные наблюдения за развитием опасных геологических процессов, режимом подземных вод и т.д.

Для технически несложных объектов, а также при строительстве по типовым проектам инженерно-геологические изыскания выполняют для одной стадии: «рабочего проекта», при которой рабочая документация разрабатывается одновременно с проектом.

Инженерно-геологические изыскания в период строительства выполняют лишь в особых случаях: 1) при строительстве ответственных зданий и сооружений, особенно в сложных инженерно-геологических условиях; 2) в условиях стеснённой городской застройки; 3) при длительных перерывах во времени между окончанием изысканий и началом строительства объектов и т.д. Они включают: 1) уточнение геологических и гидрогеологических условий в период вскрытия котлованов, тоннелей, прорезей и других выемок, выявление расхождений натуральных условий с проектными данными, внесение при необходимости соответствующих корректив и проведение дополнительных изыскательских работ; 2) контроль за ведением строительного водопонижения, инженерной подготовкой оснований зданий и сооружений, производством работ по закреплению грунтов.

В период эксплуатации объектов в необходимых случаях в соответствии с заданием Заказчика проводят обследование грунтов оснований фундаментов существующих зданий и сооружений, а также при их расширении, строительстве новых близко примыкающих зданий и в других случаях.

При необходимости осуществляют стационарные наблюдения (локальный мониторинг) за развитием опасных геологических процессов, деформациями зданий и сооружений и другими неблагоприятными факторами.

Инженерно-геологические изыскания для реконструкции зданий и сооружений проводятся, как правило, в условиях плотной застройки и поэтому должны осуществляться с учётом конкретной природно-технической ситуации. По своему составу, объёмам и применяемым методам

изысканий для реконструкции они значительно отличаются от изысканий под новое строительство. В частности, обязательным видом работ является натуральное обследование окружающей территории и реконструируемого здания. В ходе обследования устанавливаются геотехническую категорию объекта, необходимые объёмы работ по изысканиям, принципиальные варианты реконструкции и усиления и др.

Небольшой объём инженерно-геологических изысканий выполняется в период ликвидаций зданий и сооружений. Цель этих работ – обоснование проектных решений по санации (оздоровлению) и рекультивации нарушенной территории, оценка опасности и риска от ликвидации объекта.

Инженерно-геологические изыскания для строительства зданий и сооружений. Они являются начальным этапом строительства любого объекта и находятся в полной зависимости от вида объекта (промышленное предприятие, жилой дом, автомобильная дорога и т.д.). Изыскания под каждый вид объекта имеют свою специфику.

Результаты инженерно-геологических исследований поступают в строительную проектную организацию в виде отчёта. Отчёты должны иметь для инженера-проектировщика материалы по семи основным позициям результатов инженерно-геологических изысканий:

- оценка пригодности площадки для строительства данного объекта;
- геологический материал, позволяющий решать все вопросы по основаниям и фундаментам;
- оценка грунтового основания на восприимчивость возможных динамических воздействий от объекта;
- наличие геологических процессов и их влияние на устойчивость будущего объекта;
- полная характеристика по подземным водам;
- все сведения по грунтам, как для выбора несущего основания, так и для производства земляных работ;
- сведения по влиянию будущего объекта на природную среду.

Проектирование крупных объектов осуществляется по стадиям: технико-экономическое обоснование (ТЭО), технический проект и рабочие чертежи. Название стадий инженерно-геологических изысканий соответствует стадиям проектных работ, за исключением стадии ТЭО, где геологические работы получили название рекогносцировочных инженерно-геологических изысканий. В практике строительства последовательность стадий проектирования не всегда соблюдается (например, проектирование жилого дома в одну стадию). В соответствии с этими стадиями проводятся инженерно-геологические изыскания.

На ранних стадиях проектирования инженерно-геологические изыскания охватывают обширные площади, применяются не очень точные, но сравнительно простые и экономичные технические средства. По мере перехода к более поздним стадиям площади изысканий сужаются и применяются более сложные и точные методы геологических работ.

На выделенной под строительство площадке на каждом отдельном этапе инженерно-геологические изыскания выполняют в определённой последовательности:

- собирают общие сведения по территории из литературных публикаций и архивных материалов изыскательских организаций; сведения о климате, рельефе, населении, речной сети и т.д.;
- проводят осмотр строительной площадки инженеры-проектировщики совместно с инженером-геологом; определяют степень её застройки, осматривают ранее построенные здания, дорожную сеть, рельеф, растительность и т.д.; в целом определяют пригодность участка под застройку и вырабатывают техническое задание на изыскания;
- выполняют инженерно-геологические изыскания; в полевых условиях изучают геологическое строение площадки, гидрогеологию, геологические процессы, при необходимости на грунтах ставят опытные работы; отобранные пробы грунтов и подземных вод изучают в лабораториях;
- по окончании полевых и лабораторных работ в камеральный период составляют инженерно-геологический отчёт, который защищают в проектной организации, после чего он становится документом и используется для проектирования объекта.

При реконструкции, перепрофилировании и реставрации зданий и сооружений в пределах существующей городской застройки, как правило, необходимо оценить степень изменений в геологической среде за период эксплуатации зданий и сооружений и выработать рекомендации по дальнейшим проектным решениям в связи с изменившейся геологической обстановкой. В практике инженерно-геофизических изысканий основное место занимают сейсмометрия и электрометрия.

Сейсмические методы основаны на различии в скоростях распространения упругих колебаний, возникающих как от естественных причин, так и от специально проводимых взрывов. В последнее время в инженерно-геологических работах используют разнообразные, в том числе одноканальные, микросейсмические установки. С их помощью можно установить глубину залегания скальных пород под наносами, выявить дно речных долин, карстовые полости, уровень грунтовых вод, мощность талых пород в вечной мерзлоте и т.д. В сложных сейсмических и городских условиях этот метод недостаточно точен.

Электроразведка основана на исследовании искусственно создаваемого в массивах пород электрического поля. Каждая порода, в том числе сухие и насыщенные водой, характеризуются своим удельным электрическим сопротивлением. Чем больше разнятся эти удельные сопротивления между собой, тем точнее результаты электроразведки для данной строительной площадки.

Наибольшее применение при инженерно-геологических исследованиях нашли электропрофилирование и вертикальное электроразведывание.

При *электропрофилировании* на исследуемом участке погружают в грунт серию электродов по намеченным створам и на каждом из них измеряют сопротивление пород путём перемещения прибора с фиксированным положением электродов. Это даёт сведения об изменении на участке удельного сопротивления, что может быть связано, в частности, с наличием пустот карстового происхождения.

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) позволяет определять глубину залегания коренных пород и уровень подземных вод, дна речных долин, выделять слои различного литологического состава, в том числе водопроницаемые и водоупорные пласты и т.д.

4.4. ОСОБЫЕ ГРУНТОВЫЕ УСЛОВИЯ И ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА

Проблема строительства промышленных и гражданских сооружений в сложных грунтовых условиях весьма актуальна, поскольку более 80% территории России сложено просадочными, лессовыми, слабыми водонасыщенными, насыпными, набухающими и вечномёрзлыми грунтами. Значительные территории России относятся к сейсмическим районам, где возможны землетрясения интенсивностью 7 баллов и более.

При строительстве новых сооружений и реконструкции действующих часто возникает необходимость передать на грунты основания значительные нагрузки. В сложных грунтовых условиях эти нагрузки (статические, многократно приложенные, динамические) вызывают большие и зачастую неравномерные осадки фундаментов сооружений. И хотя в этих условиях построенные и успешно эксплуатируются сотни тысяч построек, известны и случаи аварий.

Коновалов П. А. (учёный, занимавшийся проблемой строительства в сложных условиях) считает, что под строительством в таких условиях следует понимать комплекс работ, связанных с исследованием, проектированием и устройством оснований и фундаментов на слабых водонасыщенных, глинистых и заторфованных грунтах, торфах и илах, просадочных и вечномёрзлых, набухающих и засоленных, пучинистых и неравномерно сжимаемых грунтах, рыхлых песках и пльвунах, закарстованных и подрабатываемых территориях, с учётом сейсмических и динамических воздействий и т.п.

Особые условия строительства и эксплуатации значительно ускоряют процесс разрушения и развития дефектов. Повысить срок службы зданий и сооружений и предотвратить аварийные ситуации является важнейшей задачей проектировщиков и строителей. Далее рассмотрим опыт строительства на сложных грунтовых условиях.

Строительство на засыпанных оврагах. В Центрально-Чернозёмных областях имеется разветвлённая овражная сеть. Процесс оврагообразования (эрозии) проходит четыре стадии (М. Ф. Иванова, 1980). Под действием временных водотоков овраги разрастаются вглубь, вверх и вниз по склону. Профиль дна оврага имеет вид вогнутой кривой, слабо наклонённой в устьевой части и крутой в верховье. Борта и дно оврага зарастают травой, кустар-

ником, превращаясь в балки глубиной до 60 м и шириной до 500 м, часто их используют в качестве свалок мусора.

Сравнивая карты Тамбова начала XX века и современную, видно, что ранее существовавшие овраги, ручьи, болота засыпаны. Техногенные отложения достигают 20 м.

В ряде случаев возникает необходимость возводить и ответственные объекты на засыпанных оврагах, например 2-й очереди трикотажной фабрики в г. Курске, стратегического объекта в г. Воронеже, жилых домов в г. Тамбове и области.

Наблюдения за устройством засыпки показали, что технология работ и методы контроля качества несовершенны. А при проектировании не учитываются особенности напряжённо-деформированного состояния засыпки и засыпки с естественным основанием.

Можно отметить следующие из них:

- в материале засыпки не образовались структурные связи и величина сцепления близка к величине сыпучего материала;
- в области активного влияния засыпанного оврага находятся два и более слоёв грунта, различных по физико-механическим характеристикам (рис. 4.1);

Надёжность застройки будет выражаться зависимостью

$$\Phi_i = \Phi_i(F_i, q_i, B, \gamma_i, c_i, \varphi_i, E_i, \omega_i, \dots),$$

где F_i – сосредоточенные нагрузки; q_i – распределённые нагрузки; γ_i – коэффициент условий работы; B – ширина здания; c_i, φ_i – удельное сцепление и угол внутреннего трения; ω_i – влажность грунта.

- в разных участках активной сжимаемой толщи будут существенно отличаться: толщины засыпки, механические, реологические и анизотропные характеристики, потенциально возможные деформации сжатия и сдвига и их скорости;

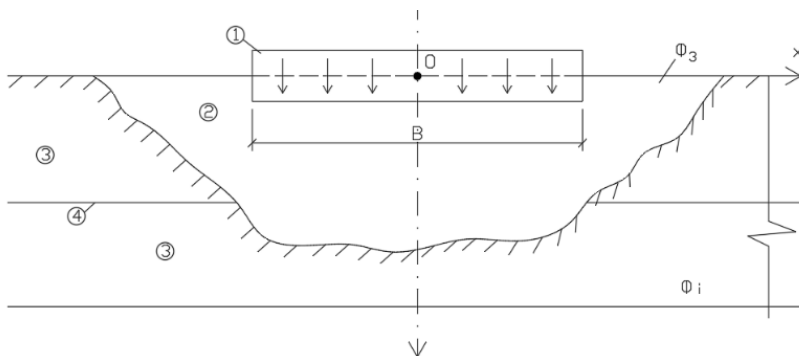


Рис. 4.1. Здание на засыпанном овраге:

1 – здание; 2 – послойно уплотнённый грунт;

3 – слой грунта естественного сложения; 4 – граница между слоями

- для получения примерно равных деформаций сжатия по всей площади засыпки необходимо совместное численное, технологическое и конструктивное решение чрезвычайно сложной практической многофакторной задачи на базе всесторонних экспериментально-теоретических исследований.

Здания вблизи склонов и откосов. Относительные разности осадок, кренов и горизонтальных смещений зависят не только от нагрузок, размеров фундаментов, жёсткости подземных и надземных частей зданий, но и их особенностей геологического строения участка – наличия наклонных слоёв естественных оснований или засыпанных откосов. Отмечены выходы подземных вод и зоны эрозионного размыва, активизация оползневых процессов с резким снижением коэффициента устойчивости. Смещение массива грунта по наклонным слоям или откосам (склонам) вызывает не учитываемые расчётом неравномерные перемещения. Необходим ряд технологических и конструктивных мероприятий по выравниванию перемещений: устройство горизонтальных опорных площадок под фундаментами, повышение жёсткости конструкций, устройство ограничителей боковых перемещений.

Пример. Вблизи одного из притоков р. Цны в районе ПО «Пигмент» построен гараж. Колонны и фермы металлические из уголков, стеновые панели навесные сборные железобетонные, фундаменты отдельные железобетонные. Первый ряд фундаментов колонн располагался на засыпанном откосе. Сдвиговые перемещения фундаментов привели к искажению формы каркаса, появлению трещин в стенах. Смещение отдельных узлов сопряжений колонн с фермами превышало 150 мм. Для торможения развития осадок и крена осуществляли контрфорсный пригруз нижней части склона, укрепление буройнъекционными сваями.

Здания на насыпных грунтах. На отдельных территориях залегают техногенные отложения с переменной мощностью. Такие грунты связаны с инженерно-хозяйственной деятельностью человека – засыпка оврагов, заливка и намыв пойменных территорий, отходы производств, свалки бытовых отходов и отходов производств, планировочные насыпи, обратные засыпки, подсыпки под полы и т.д.

Особенностями насыпных грунтов являются:

- неоднородность по составу, слоению, сжимаемости;
- наличие пустот и крупных включений;
- развитие неблагоприятных процессов: неравномерное по объёму самоуплотнение и разложение материнской структуры, шлаков и органических включений, подвижка по наклонному подстилающему слою;
- переменная толщина слоя насыпного грунта, местами глубокие (до нескольких десятков метров) залегания подстилающего слоя;
- значительное увлажнение или водонасыщение за счёт подтопления территорий, стока поверхностных и выхода грунтовых вод;
- формирование структуры в течение длительного периода времени;
- возможность устройства качественной насыпи с заданными характеристиками и упрочнения, например армированием.

Иногда насыпные грунты являются основанием фундаментов, например плитных. Примером является двухэтажное с подвалом кирпичное здание детского сада г. Тамбова. Несмотря на достаточно высокую жёсткость здания сквозные трещины появились во всех стенах. Они не стабилизировались даже после обрамления проёмов уголками, постановки тяжей.

Если фундаменты здания прорезают насыпные грунты, то возможны значительные неравномерные деформации полов первого этажа, выход из строя оборудования и коммуникаций, нарушения технологического режима предприятия. Кроме обеспечения ранее приведённых ограничений по перемещениям, следует рассмотреть возможность проявления просадочных деформаций, повреждений полов с нарушением технологии процесса. При большой глубине заложения существующих фундаментов ((3...5) м) дополнительные стремятся расположить на меньшей глубине.

Строительство на просадочных грунтах. Механика просадочных грунтов наиболее полно изложена в работах А. А. Мустафаева (1989).

Рассмотрены:

- теоретические основы процессов увлажнения и просадки;
- закономерности деформирования в условиях природного напряжённого состояния, инфильтрации в процессе просадки в зависимости от геометрии источника увлажнения и степени водонасыщения;
- реологические основы механики просадочных грунтов;
- методы прогноза просадки в условиях природного напряжённого состояния, при подъёме уровня грунтовых вод, при повышении влажности в активной зоне;
- способы определения несущей способности просадочных грунтов (параметры прочности, используемые принципы и уравнения, закономерности изменения жёсткости просадочных грунтов с повышением влажности);
- дифференциальные уравнения и критерии подобия уравнения насыщенности грунта, задачи движения одномерного неустановившегося движения сплошного фильтрационного потока;
- методы расчёта фундаментов на просадочных грунтах I и II типа с использованием: модели местных упругих деформаций, установленных закономерностей изменения жёсткости просадочных грунтов при произвольном расположении источников замачивания, дифференциальных уравнений изгиба фундаментов.

Техническая мелиорация лессовых грунтов (В. П. Ананьев и др., 1975). Отмечают следующие мероприятия по обеспечению прочности и устойчивости зданий и сооружений на просадочных грунтах:

- защита основания от замачивания (водозащитные мероприятия);
- конструктивное усиление пространственной жёсткости зданий и сооружений и приспособление их к неравномерным осадкам (конструктивные мероприятия);
- устранение просадочных свойств лессовых грунтов (техническая мелиорация).

Эффективными методами улучшения свойств лессовых грунтов являются:

- механическое уплотнение (тяжёлыми трамбовками, грунтовыми сваями, замачивание, уплотнение взрывами, виброуплотнение, подушки из песчаных и глинистых грунтов, вытрамбовывание котлованов, уплотнение весом зданий с организованным замачиванием, гидравлическое и электроискровое уплотнение);
- физико-химическое закрепление (одно- и двухрастворная силикатизация, электросиликатизация, термическое закрепление, кольматация, аммонизация, обработка кислотой, смолами или солями).

4.5. ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

Проблема обеспечения надёжности, живучести и требуемой долговечности строительных объектов является наиболее ответственной. Изменения исходных данных (нагрузок, воздействий, условий эксплуатации, расчётных схем, близко построенных объектов, накопление дефектов и повреждений) могут привести к неблагоприятным последствиям.

Приведём из СП 58.13330.2010 возможные изменения природных условий, способствующих развитию негативных физико-геометрических, геодинамических процессов в основании сооружений:

- повышение активности ближайших сейсмореагирующих разломов;
- подтопление и затопление территорий;
- переработка берегов и заиления водохранилищ;
- химическая суффозия растворимых пород карбонатного карста, вымыв грунтов основания и накопление вредных веществ;
- механическая суффозия песчаных грунтов, суффозионного карста;
- возникновение и активизация оползневых явлений;
- всплытие и растворение торфов;
- просадочные деформации основания;
- тепловые осадки при оттаивании пород в основании сооружения.

Дополнительные данные:

- набухающие деформации и давления;
- загрязнения грунтов и грунтовых вод отходами производств;
- динамические воздействия;
- блуждающие токи;
- образование напряжённых зон вокруг зданий и сооружений;
- изменения фильтрационных потоков вследствие инженерно-хозяйственной деятельности человека;
- изменение во времени физико-механических характеристик материалов и грунтов оснований.

К опасным геологическим явлениям и процессам на территории Тамбовского района Тамбовской области относятся – оползни, просадки, в последние годы активно развивается процесс подтопления, а также гидрометеорологические процессы – затопление паводковыми водами.

Оползни наиболее широко распространены в северной и южной части территории, но встречаются и в центральной части района, и на её юго-западе. Наиболее крупные оползни наблюдаются в районе населённых пунктов Лысье горы, Сурава и Новосельцево. Оползневые тела здесь имеют длину 16...20 м и мощность 1,5...2,0 м. Оползнями повреждён речной склон. Оползневые процессы зарождаются в моренных и меловых глинах. Здесь оползни поражают склон на протяжении 2 км. Оползневые явления представляют угрозу для зданий и различных инженерных сооружений.

Карст. Появление карста приурочено к известняковым отложениям девона. Там, где он залегает близко от поверхности, возможно образование поверхностных карстовых форм. Каждому новому строительству должны предшествовать детальные инженерно-геологические изыскания, включая геофизические исследования на предмет наличия карстовых полостей.

Эрозийные процессы. Территория Тамбовского района весьма подвержена эрозийным процессам, которые уже могут начаться при крутизне склонов в 3° при наличии легко размываемых пород в верхней части геологического разреза. Особенно подвержена эрозии южная часть территории в районе населённых пунктов Урюпино, Эксталь, Орловский, Колобово, Новая Жизнь.

Ранее, когда почва была покрыта и скреплена сплошной лугово-степной растительностью, эрозия даже в период снеготаяния была незначительной. Почти все овраги на Окско-Донской равнине возникли за последние 150 лет или немногим больше и главным образом за счёт вырубки лесов и сплошной распашки территории.

На территории Тамбовской области также встречаются зоны тектонических разломов, неотектонической активации и кольцевые структуры, которые выражены развитием овражно-оползневых процессов. К примеру, п. Инжавино имеет сложную геотектоническую обстановку, которая сопровождается высокой заовраженностью территории, диаметром 30 км к северу – Инжавинская кольцевая структура (А. Г. Гликман, 1997, 1999).

В общем, можно приводить много примеров. Но чтобы обезопасить себя и строения от негативного воздействия зон тектонического нарушения, нужно обязательно обращать внимание на неучтённые в нормативной документации природные явления, которые в дальнейшем могут привести к колоссальным убыткам и жертвам.

Лекция 5 ВОЗВЕДЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

5.1. ВЫСОТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

На сегодняшний день, как показывает практика, в крупных городах строительство высотных зданий получает всё большее развитие. Это обусловлено: высокой стоимостью земельных участков, ограниченностью городских площадей, интенсивным ростом населения и другими причинами. Проектирование высотных зданий имеет свою специфику с точки зрения объёмной формы, пропорций, выбора конструктивных систем и элементов зданий. Основным вопросом при этом является обеспечение надёжности. Поэтому строительство такого рода объектов требует применения совершенно уникальных инженерных решений.

Отечественными нормами в зависимости от функционального назначения проектируемых зданий и сооружений высотными принято считать такие здания, высота которых от уровня стоянки колёс передвижной пожарной лестницы для эвакуации людей до уровня вертикальной отметки верха подоконника оконного проёма последнего эксплуатируемого этажа здания повышенной этажности превышает соответственно: 75 м – для жилых зданий, включая гостиницы, общежития; 50 м – для общественных и административных зданий. В актуализированных редакциях нормативных документов принята классификация многоэтажных зданий по категориям возгораемости: здания высотой от 30 до 50 м относятся к первой категории; от 50 до 75 м – ко второй категории; от 75 до 100 м – к третьей категории; выше 100 м – классифицируются как высотные здания. В США высота здания определяется его классом и шириной улицы (высота Эмпайр Стейт-Билдинг – 102 этажа).

Анализ конструктивных решений высотных зданий. В последнее время возводят как здания высотой более 25 этажей, так и многофункциональные высотные комплексы (МВК) с обязательным использованием подземного пространства (6 – 8 этажей). Размеры фундаментов до 10 000 м² и более. Фундаменты плитные или плитно-свайные. Давление на грунты основания достигают 1,5 МПа. Зона активного взаимодействия фундамента с грунтовым основанием достигает 100 м. Чаша оседания грунта распространяется на расстояние до двух глубин котлована.

Отрывка глубокого котлована приводит к изменению НДС массива. За счёт разуплотнения грунта происходит подъём дна котлована до 10 см и ухудшение свойств грунтов активной зоны. При устройстве фундамента нагрузка достигает исходного природного состояния и в дальнейшем догружается до проектного значения.

Для рационального проектирования следует определять модуль первичного и повторного нагружения и разгрузки.

В отдельных случаях необходимо знать величину горизонтального давления, которое может достигать или даже превышать вертикальное.

Приведём основные задачи при инженерно-геологических изысканиях участка застройки для высотного здания:

- изучение геологических строений массива грунтов на большие глубины (до 100 м);
- оценка гидрогеологических и гидротехнических условий в зоне котлована и прилегающей территории, на глубинах размещения опор глубокого заложения;
- отбор образцов грунтов с больших глубин;
- определение деформационных и прочностных свойств при больших диапазонах изменения напряжений до (1,5...2,0) МПа для плитных фундаментов и до (3...5) МПа для опор глубокого заложения;
- широкое использование полевых методов определения свойств грунтов;
- организация режимных инструментальных наблюдений за деформациями грунтового массива и окружающих объектов;
- оценка скорости и характера движения грунтовых массивов как при действии природных процессов, так и при техногенных воздействиях.

Глубина разведочных скважин определяются с учётом трёх факторов: глубины котлована, толщины активной зоны и слоёв грунта, которые могут проявиться со временем.

Важное значение придаётся оценке неоднородности грунта по составу, его строению и свойствам.

Для обоснованного выбора площадки и обеспечения устойчивости зданий следует обратить внимание на наличие:

- древних погребённых долин;
- землетрясений и микросейсм;
- вертикальных движений земной коры.

В этих случаях допускается индивидуальная разработка участка с учётом конструктивных особенностей основания.

Для уменьшения общих и неравномерных осадок рекомендованы следующие мероприятия:

- строительство зданий в глубоких котлованах, что позволяет опереть фундамент на более прочные грунты и снизить осадки за счёт эффекта повторного нагружения;
- усиление основания при относительно небольшой толщине слабого грунта;
- использование глубоких опор в виде свай или баретт, позволяющих передать основную нагрузку на глубокие малодеформируемые грунты.

Для проектирования оснований и фундаментов можно пользоваться следующими нормативными документами: СП50-101–2004 (2021), СП50-102–2003 (2021), МГСН 2.07–01 (ТСН 50-304–2001 г. Москвы, 2003), СП 23.13330.2018 (2019).

Глубина котлованов высотных зданий доходит до 30 м. Отметка дна котлована часто находится ниже уровня грунтовых вод. При высоких уровнях грунтовых вод применяются следующие ограждающие конструкции:

- монолитные или сборно-монолитные траншейные стенки, устраиваемые способом «стена в грунте»;

- стены из буросекущихся свай, выполняемые по технологии форшакта, которая располагается глубже уровня грунтовых вод, чтобы они не подмывали конструкцию.

- комбинация вышеперечисленных методов.

К особенностям проектирования ограждений относятся (МГСН2.07–01(2003)):

- повышенные требования к детальности расчётов удерживающих и анкерных конструкций;

- обеспечение эксплуатационной пригодности зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния высотного строительства и подвергающихся деформациям;

- возможность передачи вертикальной нагрузки на ограждение котлованов, моментных и дополнительных горизонтальных нагрузок от ветрового потока.

При проектировании глубоких котлованов широкое распространение получили численные методы. Рассматривается задача контактного взаимодействия гибкой подпорной конструкции с упругопластическим основанием, описываемым переменным коэффициентом постели. При этом анализируется НДС не только ограждающей конструкции, но и примыкающего грунтового основания.

В расчёте также требуется проверка общей устойчивости грунтового массива с ограждением. Крепление ограждающих конструкций осуществляется преднапряжёнными грунтовыми анкерами.

Расчёт оснований фундаментов высотных зданий выполняется по двум группам предельных состояний.

Выполняется и ряд специфических расчётов ограждений котлованов:

- общей устойчивости грунтового массива с ограждающей конструкцией, например методом предельного равновесия;

- фильтрационной устойчивости основания;

- несущей способности грунтовых анкеров;

- устойчивости стенок траншеи с использованием тиксотропных водных растворов;

- технико-экологических в целях обоснования наиболее эффективных решений.

Расчёт осадок фундаментов на естественном основании. Этот расчёт необходим при проектировании плитных фундаментов, является составной частью расчёта свайных и плитно-свайных фундаментов. При расчёте учитывают все стадии формирования НДС основания, в том числе подъём дна котлована при выемке грунта, влияние водопонижения; исходное (природное),

начальное (после отрывки котлована) напряжённые состояния; деформационные характеристики основания при первичном и повторном нагружении; наличие ограждений, заходящих ниже дна котлована; способ соединения фундаментной плиты с ограждениями (скользящие или жёсткие); величину структурной прочности. В расчётах используют более совершенные модули упругопластических сред с деформационным упрочнением Cam-Clay, Ю. К. Зарецкого, П. А. Вермера.

Расчёт свайных и плитно-свайных фундаментов. Учитывают следующие факторы: взаимодействие с грунтом, взаимодействие плиты с грунтом, взаимодействие свай через грунт, взаимодействие свай и плиты через грунт.

Осадка грунта под плитой уменьшает взаимодействие смещения свай и грунта, снижает отпор грунта смещению свай. Для зданий со значительным перепадом высоты (высотное здание с пристройкой) под высотной частью (его возводят в первую очередь) используют сваи или глубокие опоры. После того как произойдут основные осадки строят подземную или малоэтажную часть.

Рекомендуется использовать следующие варианты компоновки и архитектурно-плановые решения, обеспечивающие благоприятные условия взаимодействия здания с основанием:

1) устройство подземных этажей, способствующие повышению жёсткости подземной части здания и заделки его в основание, уменьшенных осадок и кренов;

2) возведение вокруг высотной части здания, зданий меньшей этажности повышает устойчивость в целом;

3) устройство разделительных стенок, заглублённых в малодеформируемые слои в целях уменьшения влияния на окружающую застройку;

4) устройство несущих стен и диафрагм жёсткости подземных этажей;

5) использование архитектурно-конструктивных не вызывающих дополнительный эксцентриситет нагрузок и неравномерных осадок;

6) увеличивается число скважин с расстоянием между ними не более 20 м;

7) обязательное выполнение статического и динамического зондирования;

8) минимальная глубина бурения и зондирования увеличивается с учётом возрастающей расчётной глубины сжимаемой толщи основания и параметров свайных фундаментов;

9) обязательное выполнение геофизических исследований грунтов;

10) расчёты оснований по 1-й группе предельных состояний проводятся для всех оснований высотных зданий;

11) величины предельных совместных деформаций основания и сооружения определяют исходя из технологических и архитектурных требований, требований сохранения устойчивости основания и сооружения, прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкций фундаментов, подземной и надземной части здания;

12) предельные горизонтальные перемещения верхней отметки здания для расчёта по недеформируемой схеме ограничивают $h < 150 \text{ м} - f_{ult} = \frac{h}{500}$, $h = 400 \text{ м} - f_{ult} = \frac{h}{1000}$; для расчёта по деформируемой схеме (МГСН 4.19–2005, п. 29) предельные горизонтальные перемещения верха здания ограничивают условиями эксплуатации технологического оборудования, например лифтов;

13) повышают величины коэффициентов надёжности по ответственности:

$$\begin{aligned} \gamma_n &= 1,1 \text{ при } 75 \leq h < 100 \text{ м;} \\ \gamma_n &= 1,15 \text{ при } 100 \leq h < 200 \text{ м;} \\ \gamma_n &= 1,2 \text{ при } h \geq 200 \text{ м;} \end{aligned}$$

14) расчёт основания по первой группе предельных состояний рекомендуется выполнить на основе сочетания расчётных значений нагрузок.

5.2. ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Освоение подземного пространства мегаполисов для совершенствования подземной инфраструктуры и улучшения жизни людей стало важнейшей частью нашей цивилизации и культуры. Подземные сооружения строятся для повышения качества жизни людей. В этом заключается основное отличие XXI века от предыдущих лет.

Осуществляемое в самое последнее время интенсивное и эффективное использование подземного пространства более чем в 50 странах мира приобрело особое значение. Недра стали расценивать как одну из перспективных и прибыльных областей, разработка которых не нарушает, а сохраняет окружающую среду. Реализация возможности размещения под землёй производств с вредными и опасными технологиями, атомных электростанций, захоронение радиоактивных отходов и токсических веществ, сброс технических и сточных вод, складирование отходов обогатительных фабрик и утилизация промышленных отходов, не считая создания дополнительных промышленных площадей, транспортных, коммуникационных, социальных, культурно-бытовых и других подземных объектов и сооружений – всё это должно способствовать решению глобальной проблемы улучшению экологической обстановки и комфортности среды для жизни людей на земле.

Общие принципы использования подземного пространства. В первую очередь, подземные сооружения не должны наносить ущерб окружающей среде. Человек уже изменил и даже нарушил первоначальный ландшафт почти на всей поверхности планеты Земля, заняв территории пашнями, водохранилищами, городскими и поселковыми застройками, дорогами и т.п. Все эти работы, несомненно, нанесли экологический ущерб природе.

Комплексность использования подземного пространства. Современное подземное городское хозяйство включает инженерно-транспортные сооружения, предприятия торговли и общественного питания, зрелищные, админи-

стративные и спортивные сооружения, объекты коммунально-бытового обслуживания и складского хозяйства, промышленные объекты, инженерное оборудование и др. Принципом строительства подземных сооружений в городах выступает объединение функций этих сооружений, с тем чтобы строить и эксплуатировать не отдельные, изолированные один от другого объекты, а «наземно-подземную» систему города, которая соответствовала бы требованиям подземной урбанистики (области архитектуры и градостроительства, связанной с комплексным использованием подземного пространства). Эти требования направлены на обеспечение социальных, экологических и экономических аспектов улучшения жизни людей, на создание оптимальных условий их труда, быта, отдыха и населения, на формирование привлекательной городской среды, социальной гигиены и технико-экономической целесообразности.

Виды подземных сооружений, классификация подземных сооружений. Подземные объекты могут быть отнесены к следующим четырём важнейшим группам:

1) подземные объекты хозяйственного назначения – энергетические и горнопромышленные комплексы, промышленные предприятия, транспортные магистрали, аграрные предприятия, хранилища, склады, гаражи, автостоянки;

2) подземные объекты социального назначения – библиотеки, спортзалы, кинозалы, магазины, рестораны, бассейны, больницы, музеи, научные центры;

3) подземные объекты экологического назначения – хранилища-могильники для радиоактивных отходов и вредных веществ, опасные производства;

4) подземные объекты оборонного назначения.

Основные требования, предъявляемые к инженерно-геологическим, гидрогеологическим и геоэкологическим изысканиям для подземных сооружений.

При подземном строительстве основная роль отводится инженерно-геологическим изысканиям. Повышается роль оценки воздействия геологической среды на строящийся подземный объект, а также влияния самих подземных сооружений на окружающую среду (вмещающие породы, подземные воды, а также объекты, размещённые на поверхности земли или в соседних выработках на расстоянии до трёх характерных размеров самого сооружения).

Основными задачами инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий для последующей разработки проектов подземных сооружений являются: установление неблагоприятных для сооружения геологических и инженерно-геологических процессов, характерных для осваиваемой территории; составление инженерно-геологического разреза на всю глубину сжимаемой толщи основания; определение значений физико-механических характеристик грунтов в её пределах; фиксация существующего и прогноз изменения уровня подземных вод, а также анализ химического состава

и агрессивности по отношению к бетону и арматуре этих вод; установление соответствия полученных данных с архивными материалами. Такие исследования включают комплекс работ: рекогносцировку; инженерно-геологическую съёмку; инженерно-геологическую разведку. Состав этих работ в общем случае: сбор, обработка, анализ материалов исследований предыдущих лет; дешифровка космо- и аэрофотоматериалов, а также аэровизуальных наблюдений; маршрутные наблюдения; проходка горных выработок (скважин, шурфов и др.) с отбором монолитов и образцов грунтов; геофизические исследования; полевые исследования грунтов (зондирование, штамповые испытания, прессиометрические исследования грунтов в скважинах и др.); гидрогеологические исследования; стационарные наблюдения; лабораторные исследования грунтов и проб грунтовых вод; обследования оснований и фундаментов, окружающих контуры будущего подземного сооружения зданий; камеральная обработка полученных материалов (определение нормативных и расчётных величин физико-механических свойств грунтов); поверочные расчёты оснований и составление технических отчётов (заключений) по результатам выполненных исследований.

Графическая часть отчёта должна содержать уточнённые карты фактографических материалов, инженерно-геологических условий, инженерно-геологического районирования, опасности и риски от геологических и инженерно-геологических процессов, инженерно-геологические разрезы, колонки и описания горных выработок. В техническом отчёте по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки рабочей документации приводятся уточнённые данные по геологическому строению массива, характеристикам грунтов, гидрогеологическим условиям, геологическим и инженерно-геологическим процессам. Как следует из приведённого перечня необходимых материалов, помещаемых в технические отчёты, инженерно-геологические изыскания требуют особого внимания и тщательного выполнения в полном объёме, так как они являются наиболее ответственной частью работ по созданию подземного сооружения.

Строительные технологии возведения и реконструкции подземных сооружений. Котлованный способ строительства. Котлованами называют выемки, выполненные в грунте и предназначенные для различных целей: устройства фундаментов, монтажа подземных конструкций, прокладки туннелей и т.п. Выемки, имеющие малую ширину и большую длину, называют траншеями, а имеющие малые размеры в плане и большую глубину – шахтами. Проект разработки котлована является составной частью общего проекта здания или сооружения и включает в себя чертежи котлована, указания по производству и организации работ, защитные мероприятия. На чертежах котлована (план и разрезы) указываются горизонтальная и вертикальная привязки котлована к местности, основные оси, размеры поверху и понизу, абсолютные отметки дна и всех заглублений, заложение откосов. Особое внимание при отрывке котлованов уделяется обеспечению устойчивости их стенок.

Конструкции крепления стенок или откосов котлованов должны воспринимать все нагрузки от давления грунта и подземных вод и защищать от их оползания или обрушения.

Возведение подземных сооружений способом опускного колодца. Опускной колодец представляет собой открытую сверху и снизу железобетонную (реже стальную и бетонную) конструкцию, стены которой в нижней части имеют заострения (консоли), обычно усиленные металлом (ножи). Опускные колодцы погружаются в грунт под действием собственного веса по мере разработки и удаления грунта, расположенного в полости колодца и ниже его ножа. Стены колодцев либо сооружают сразу на полную высоту, либо наращивают по мере погружения колодцев в грунт. Погружение опускных колодцев в грунт производят с откачкой или без откачки воды из их полости. После достижения опускным колодцем проектной глубины заложения фундамента полость колодца целиком или частично заполняют бетонной смесью сначала подводным способом, а затем насухо. В верхней части колодца сооружают распределительную железобетонную плиту, на которой впоследствии ведут кладку надфундаментной части опоры; в некоторых случаях такую плиту не делают.

Возведение подземных сооружений методом «стена в грунте». Способом «стена в грунте» сооружаются подпорные стены, стены заглублённых сооружений, фундаменты под тяжёлые здания и сооружения, а также противофильтрационные завесы. Этот способ наиболее рационален при строительстве в сложных гидрогеологических условиях и высоком уровне грунтовых вод в городских условиях вблизи существующих зданий. Способ «стена в грунте» основан на применении глинистого раствора для удержания в вертикальном положении стен траншей при их разработке и последующем заполнении бетонной смесью, сборными железобетонными конструкциями или противофильтрационными материалами. Способ особенно эффективен при заглублении стен в водоупорные грунты, что позволяет полностью отказаться от водоотлива или водопонижения. Наиболее рационально его использование в нескальных песчаных, гравелистых, глинистых грунтах, но возможно применение и в полускальных породах (слабосцементированных песчаниках и конгломератах, алевролитах, аргиллитах и т.п.).

Устройство нулевых циклов методом «сверху вниз». Строительство глубоких котлованов в стеснённых городских условиях требует применения особой технологии, которая обеспечит безопасную эксплуатацию окружающей застройки. К такой технологии относится возведение нулевых циклов методом сверху вниз (UP-DOWN). Технология строительства нулевых циклов методом сверху вниз включает устройство проектных плит перекрытий сначала на верхних этажах, откопку грунта из-под этих перекрытий, а затем возведение перекрытий на нижележащих этажах, откопку грунта из-под них и строительство фундаментной плиты. Во время строительства все плиты

перекрытия опираются на временные сваи и ограждение котлована. После возведения проектных колонн и стен, набора соответствующей прочности их бетона и узлов соединения с перекрытиями все временные конструкции удаляются. Роль распорок в котлованах по этой технологии играют проектные плиты перекрытия, жёсткость которых значительно выше, чем традиционных стальных конструкций. Сложнейшей задачей является обеспечение безопасности непосредственно на строительстве при откопке котлована сверху вниз. Следует таким образом конструировать узлы сопряжения временных и постоянных конструкций нулевого цикла, чтобы нагрузку от верхних строений перенести с временных на постоянные проектные конструкции.

Проходка продавливанием и проколом. Метод продавливания – это, по существу, метод «горизонтального опускного колодца». С равным основанием его можно назвать и методом «длинного щита». Сущность метода состоит в том, что герметичная тьюбинговая крепь монтируется кольцо за кольцом в специальной камере, удалённой от забоя. В этой же камере находятся домкраты, вдавливающие крепь по мере разработки грунта в забое. Для уменьшения трения крепи о массив грунта в затьюбинговое пространство нагнетается глинистый раствор. Метод вдавливания используется также при прокладке труб под железнодорожными и автодорожными насыпями. При вдавливании труб диаметром до 900 мм для разработки грунта в забое нашли применение бурошнековые машины. Метод прокола используется для прокладки труб диаметром до 600 мм под насыпями, дорогами. От метода продавливания он отличается тем, что объём грунта, занимаемый прокладываемой трубой, не удаляется, а отжимается в сторону. Метод прокола применяется в двух вариантах: протаскивание лебёдкой и вдавливание домкратом. Необходимое усилие для вдавливания трубы диаметром 0,5 м в песчано-глинистых и насыпных грунтах составляет 150...1500 кН в зависимости от плотности или консистенции.

Методы закрепления и замораживания грунтов. Закрепление грунтов заключается в искусственном преобразовании строительных свойств грунтов в условиях их естественного залегания разнообразными физико-химическими методами. В процессе закрепления между частицами грунта возникают прочные структурные связи за счёт инъецирования в грунт и последующего твердения определённых реагентов. Это обеспечивает увеличение прочности грунтов, снижение их сжимаемости, уменьшение водопроницаемости и чувствительности к изменению внешней среды, особенно влажности. Важным условием применимости инъекционных методов закрепления является достаточно высокая проницаемость грунтов.

Возведение сооружений, подрачивание. Метод подрачивания применяется при строительстве заглублённых сооружений в устойчивых необводнённых грунтах при отсутствии в ходе строительства нагрузки на стены. Он заключается в наращивании стены вниз по мере откопки котлована. Стены сооружений возводятся из сборных элементов: ребристых тьюбингов

с болтовым соединением или плоских панелей со сварными, омоноличиваемыми бетоном соединениями. В стеновых элементах предусматривают трубки для нагнетания тампонажного раствора в заобделочное пространство. Высота яруса (незакреплённого участка вертикального откоса у забоя) определяется устойчивостью грунтовой стенки.

5.3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Энергетическое строительство представляет собой направление строительства, основной задачей которого является сооружение объектов, обеспечивающих бесперебойное снабжение электроэнергией всех её потребителей. К объектам энергетического строительства относятся электрические станции (тепловые, гидроэлектростанции, атомные электростанции и т.д.), а также электрические сети, линии электропередачи, подстанции и т.п.

Основными направлениями энергетического строительства являются сооружение крупных электростанций и строительство магистральных линий электропередачи. Конструкции объектов энергетического строительства в значительной степени унифицированы и высокоиндустриальны.

Тепловые электростанции. Основные направления технического развития энергетического строительства определены использованием прогрессивных проектных решений, эффективных строительных материалов и конструкций высокой заводской готовности, переходом на полносборное строительство, дальнейшим развитием механизации с внедрением комплексной механизации и автоматизации строительных процессов, применением новых высокопроизводительных технологических процессов, созданием автоматизированной системы управления энергетическим строительством и на этой основе более эффективным использованием капитальных вложений и улучшением технико-экономических показателей. Строительство тепловых электростанций на всех этапах характеризуется непрерывным увеличением единичной мощности основного оборудования, совершенствованием компоновок, строительных конструкций и методов сооружения.

Тепловые электростанции представляют собой сложный строительно-монтажный комплекс. Специфика строительства тепловых и атомных электростанций заключается в тесной взаимосвязи технологического оборудования и строительных конструкций, что выделяет их среди других строительных объектов. Наибольшая сложность возникает при необходимости возведения нескольких мощных однотипных электростанций в одном регионе. Опыт крупномасштабного строительства тепловых электростанций 60 – 80-х гг. XX в. в СССР показал эффективность (финансовую и временную) централизованного объединения строительно-монтажных коллективов с последовательным их переводом с одной электростанции на другую – поточно-скоростной метод строительства. Переход специализированных подразделений с одной ТЭС на другую по графику потока обеспечивает лучшую среднюю загрузку производственной мощности каждой из них.

Для получения полного представления обо всей программе строительных работ, а также о технологической и организационной последовательности выполнения отдельных этапов разрабатывается сетевой график строительства тепловой электростанции. Технико-экономический анализ сетевого графика показывает, что если некоторое удорожание стоимости строительства при форсировании работ, лежащих на критическом пути, может быть оправдано досрочным вводом энергетических блоков в эксплуатацию, то «авралы» на некритических путях являются не только упущением руководства, но и напрасной тратой средств. На оперативных совещаниях руководство строительства обращает внимание на ликвидацию отклонений от исходного плана. На этих совещаниях обязательно присутствуют ответственные исполнители, работы которых находятся на критическом пути, и исполнители, которых затрагивают мероприятия по перераспределению ресурсов.

Продолжительность основных этапов проектирования и строительства предприятий, сроки поставки технологического оборудования, а также срок освоения предприятием проектной мощности определяются на основе комплексных укрупнённых сетевых графиков.

Подготовка строительного производства начинается с выбора площадки ТЭС после принятия решения о строительстве энергетического объекта. По сложившейся практике за 3 года до начала строительства утверждается технико-экономическое обоснование (ТЭО) ТЭС, за 2 года утверждается выбор площадки строительства. В связи с непрерывным планированием строительства ТЭС и долгосрочным поточным строительством создаётся единая система заказчика, генпроектировщика и генподрядчика по сооружению ТЭС.

До начала подготовки строительной площадки к сооружению основных объектов должны быть выполнены следующие организационно-технические мероприятия:

- утверждены технические и рабочие проекты организации строительства со сводным сметно-финансовым расчётом;
- решены вопросы о порядке обеспечения строительства материалами, строительными деталями и конструкциями, технологическим оборудованием;
- заказчиком выданы генподрядчику рабочие чертежи и сметы в срок до 1 сентября года, предшествующего планируемому, на объём работ первого года строительства;
- определены строительные-монтажные организации, привлекаемые для выполнения работ, потребность в строительном-монтажных кадрах и жильё;
- на основе материалов технического проекта рассчитаны трудовые затраты и разработаны организационно-технические и технологические мероприятия по их уменьшению (включая мероприятия по изучению проектов, чертежей и смет инженерно-техническими работниками стройки);
- отведена территория для строительства;
- обеспечено финансирование работ, а также заключены договоры на выполнение работ между заказчиком и генподрядчиком и договоры генподрядчика с субподрядными организациями;

- размещены заказы на первоочередные поставки технологического оборудования;
- закончены переселение лиц и перевод организаций, расположенных на территории строительной площадки.

Как правило, строительные базы могут создаваться для каждой строящейся электростанции, производственно-комплекточные базы (ПКБ) – при централизованном управлении строительством группы электростанций в одном регионе с приемлемыми транспортными условиями.

Атомные электростанции. Одним из основных требований при оценке возможности строительства АЭС является обеспечение безопасности её эксплуатации для окружающего населения, которая регламентируется нормами радиационной безопасности. Одним из мероприятий защиты окружающей среды – территории и населения от вредных воздействий при эксплуатации АЭС является организация вокруг неё санитарно-защитной зоны. При выборе места строительства АЭС должна учитываться возможность создания санитарно-защитной зоны, определяемой кругом, центром которого является вентиляционная труба АЭС. В санитарно-защитной зоне запрещается проживать населению. Особое внимание должно быть обращено на исследование ветровых режимов в районе строительства АЭС с тем, чтобы располагать атомную электростанцию с подветренной стороны по отношению к населённым пунктам. Исходя из возможности аварийной протечки активных жидкостей, предпочтение отдаётся площадкам с глубоким стоянием грунтовых вод.

При выборе площадки для строительства атомной электростанции большое значение имеет техническое водоснабжение. Атомная электростанция – крупный водопользователь. Потребление воды АЭС незначительно, а использование воды велико, т.е. в основном вода возвращается в источник водоснабжения. К АЭС, так же как и ко всем строящимся промышленным сооружениям, предъявляются требования по сохранению окружающей среды. При выборе площадки для строительства атомной электростанции необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- земли, отводимые для сооружения АЭС, непригодны или малопригодны для сельскохозяйственного производства;
- площадка строительства располагается у водоёмов и рек, на прибрежных незатапливаемых паводковыми водами территориях;
- грунты площадки допускают строительство зданий и сооружений без проведения дополнительных дорогостоящих мероприятий;
- уровень грунтовых вод находится ниже глубины заложения подвалов зданий и подземных инженерных коммуникаций и на водопонижение при строительстве АЭС не требуется дополнительных затрат;
- площадка имеет относительно ровную поверхность с уклоном, обеспечивающим поверхностный водоотвод, при этом земляные работы сведены к минимуму.

Площадки строительства АЭС, как правило, не допускается располагать:

- в зонах активного карста;

- в районах тяжёлых (массовых) оползней и селевых потоков;
- в районах возможного действия снежных лавин;
- в районах, заболоченных и переувлажнённых с постоянным притоком напорных грунтовых вод;
- в зонах крупных провалов в результате горных выработок;
- в районах, подверженных воздействию катастрофических явлений, как цунами, землетрясение и т.п.;
- в районах залегания полезных ископаемых.

Для определения возможности строительства АЭС в намеченных районах и сравнения вариантов по геологическим, топографическим и гидрометеорологическим условиям на стадии выбора площадки проводятся конкретные изыскания по каждому рассматриваемому варианту размещения электростанции.

Инженерно-геологические изыскания проводятся в два этапа. На первом этапе собираются материалы по ранее проведённым изысканиям в рассматриваемом районе и определяется степень изученности предполагаемого места строительства. На втором этапе в случае необходимости проводятся специальные инженерно-геологические изыскания с бурением скважин и отбором грунтов, а также рекогносцировочное геологическое обследование площадки. По результатам камеральной обработки собранных данных и дополнительных изысканий должна быть получена инженерно-геологическая характеристика района строительства, определяющая:

- рельеф и геоморфологию территории;
- стратиграфию, мощность и литологический состав коренных и четвертичных отложений, распространённых в районе до глубины 50...100 м;
- количество, характер, отметку залегания и условия распространения отдельных водоносных горизонтов в пределах общей глубины;
- характер и интенсивность физико-геологических процессов и явлений.

При проведении инженерно-геологических изысканий на стадии выбора площадки собираются сведения о наличии местных строительных материалов – разрабатываемых карьерах и месторождениях камня, песка, гравия и других строительных материалов. В этот же период определяются возможности использования подземных вод для технологического и хозяйственно-питьевого водоснабжения. При проектировании атомных электростанций, так же как и других крупных промышленных комплексов, выполняются ситуационные планы строительства, схемы генеральных планов и генеральные планы промышленной площадки АЭС.

Целью проектирования атомных электростанций является создание наиболее рационального проекта. Основные требования, которым должны отвечать здания АЭС:

- удобство для выполнения основного технологического процесса, для которого предназначены (функциональная целесообразность здания);

- надёжность при воздействии окружающей среды, прочность и долговечность (техническая целесообразность здания);
- экономичность, но не в ущерб долговечности (экономическая целесообразность);
- эстетичность (архитектурно-художественная целесообразность).

Компоновку АЭС создаёт коллектив проектировщиков разных специальностей.

В состав атомной электростанции входят здания и сооружения различного назначения и соответственно различного конструктивного выполнения. Это – многоэтажное и многопролётное здание главного корпуса с массивными конструкциями из предварительно-напряжённого железобетона, ограждающими радиоактивный контур; отдельно стоящие здания вспомогательных систем, например химводоочистка, дизель-генераторная, азотная станция, обычно выполненных в сборных железобетонных типовых конструкциях; подземные каналы и туннели, проходные и непроходные для размещения кабельных потоков и трубопроводов связи между системами; надземные эстакады, соединяющие между собой главный корпус и вспомогательные здания и сооружения, а также здания административного санитарно-бытового корпуса. Наиболее сложным и ответственным зданием атомной электростанции является главный корпус, который представляет собой систему сооружений, образованных в общем случае каркасными строительными конструкциями и массивами реакторного отделения.

Особенностью АЭС, как и любых зданий ядерных установок, является наличие в процессе эксплуатации ионизирующих излучений. Этот главный отличительный фактор необходимо учитывать при проектировании. Основным источником излучений на АЭС является ядерный реактор, в котором происходит реакция деления ядер горючего. Эта реакция сопровождается всеми известными видами излучений.

Гидроэлектростанции. При строительстве множества ГЭС, в том числе в самых удалённых местностях страны, решаются проблемы:

- строительства современных дорог на всей территории России и хозяйственного освоения отдалённых районов страны на базе освобождаемых после возведения ГЭС благоустроенных городов и посёлков гидростроителей;
- создания на базе существующих новых водохранилищ единой внутренней водно-транспортной системы России от Балтийского и Чёрного морей до Тихого океана;
- повышения занятости населения и обеспечения значительной его части жильём;
- замены изношенного оборудования ТЭС и АЭС путём замещения последних новыми гидроэлектростанциями;
- снижения затрат на реконструкцию и эксплуатацию жилищно-коммунального хозяйства городов и посёлков, переводимых на электриче-

ское и электробойлерное теплоснабжение с ликвидацией ТЭЦ, котельных и многокилометровых тепловых сетей;

- улучшения экологической обстановки во многих промышленных районах страны и уменьшения на 35...40% выбросов углекислого газа в атмосферу (парникового эффекта).

Массовое гидроэнергостроительство с неизбежным вмешательством в природные условия многих регионов требует кардинального повышения культуры проектирования и строительства этих сооружений в части воздействия на окружающую среду. Строительство гидроэлектростанций, как свидетельствует мировой опыт, должно и может не ухудшать, а улучшать условия жизни людей.

Географическое положение намечаемой к строительству ГЭС определяется схемой использования гидроэнергетических ресурсов реки с учётом возможности и экономической целесообразности передачи её электроэнергии потребителям. Такие схемы разработаны по каждому региону страны для большинства крупных и средних рек с указанием расположения наиболее перспективных по природным условиям створов будущих ГЭС. По мере более глубокого изучения рек они постоянно уточняются.

По соображениям экономики и организации работ строительство ГЭС целесообразно выполнять каскадами с последовательным выполнением однотипных работ на нескольких гидроузлах каскада поточным методом. Однако требуемые при этом капиталовложения превосходят возможности любого государства, а вводимые энергетические мощности трудно эффективно использовать. Поэтому выбор ГЭС для строительства производится, как правило, на основании сравнения нескольких конкурирующих вариантов и зависит от многих факторов. В первую очередь от возможности удовлетворения энергетических, транспортных или водохозяйственных потребностей ближайших промышленных и народнохозяйственных комплексов; природных условий; экономической эффективности будущего сооружения; размеров затопления водохранилищем ценных земель; степени удалённости от магистральных дорог и пр.

Разработке проекта любой ГЭС предшествуют многолетние инженерные изыскания в конкурирующих створах и глубокое изучение природных условий строительства: топографии, геологии, климата, гидрологического и ледового режима реки.

При изучении режима реки и климата используются наблюдения Гидрометеослужбы РФ. Инженерно-геологические и гидрологические изыскания выполняются специальными изыскательскими партиями (экспедициями) по заданиям соответствующих проектных институтов. В процессе инженерных изысканий ими должны быть установлены фильтрационные и физико-механические свойства горных пород и строительных материалов, изменение расходов и уровней водотока в течение года, ледовый и термический режим реки, движение взвешенных и донных наносов и пр. Недостаточно тщательное выполнение изысканий в створе будущей ГЭС (особенно

инженерно-геологических) может повлечь негативные последствия для строительства гидроузла.

Для руководства проектными работами по ГЭС генпроектировщик назначает главного инженера проекта – специалиста, имеющего опыт проектирования и строительства подобных объектов. На него возлагается ответственность за качество проекта, обеспечение утверждённых технико-экономических показателей при строительстве и координацию работы всех организаций и подразделений над отдельными частями проекта.

Проект основных сооружений разрабатывается группой специалистов при главном инженере проекта. Проектирование специальных и вспомогательных сооружений, организации строительства и производства работ, разработку смет, гидравлические и статические исследования, дополнительные инженерные изыскания и другие проектные работы выполняют по заданию главного инженера проекта специализированные отделы институтов или привлечённые к проектированию гидроузла на правах субподрядчиков сторонние научно-исследовательские организации.

Для оперативного решения возникающих в процессе строительства ГЭС технических вопросов, разработки и привязки к местным условиям отдельных рабочих чертежей генеральным проектировщиком организуются на строительных площадках группы рабочего проектирования (ГРП). На них возлагается также авторский надзор за соблюдением проектных решений в ходе строительства.

В зависимости от сложности ГЭС проектируются в одну или две стадии. На первой стадии разрабатывают проект основных сооружений со сводным сметным расчётом и проектом организации строительства (ПОС). В проекте основных сооружений решаются вопросы выбора конструкции и компоновки сооружений, расчёта их прочности и устойчивости, определяются объёмы работ и технико-экономические показатели ГЭС.

ПОС является важнейшим документом проекта. Он призван служить основой для планирования и организации всего комплекса работ по строительству ГЭС. В нём устанавливают: способ пропуска расходов реки в период производства работ в русле, общую схему организации строительства, состав и мощности предприятий производственной базы, источники обеспечения строительства всеми видами материалов и ресурсов, объёмы и последовательность выполнения основных и подготовительных работ; методы, темпы и сроки производства работ по всем объектам строительства; потребность в рабочих кадрах, строительном оборудовании и материальных ресурсах; сроки поставки основного оборудования; оптимальные сроки строительства в целом и его очередей; сроки ввода в действие производственных мощностей; планы финансирования по годам строительства и технико-экономические показатели по основным видам работ и строительству в целом.

На второй стадии проектирования ГЭС разрабатываются рабочие чертежи и сметы к ним. По сложным объектам выполняются дополнительные работы и исследования, уточняющие технические решения проекта.

Техническая документация второй стадии проекта ГЭС включает общие и детализировочные рабочие чертежи по каждому объекту гидроузла, ведомости строительных и монтажных работ, ведомости потребности в строительных материалах, конструкциях и оборудовании; сметы, составленные на основании объёмов работ по рабочим чертежам и единичным расценкам и учитывающие, как правило, фактические методы производства работ на стройплощадке; проекты производства основных видов работ (ППР).

ППР обычно содержат: стройгенплан объекта; графики выполнения работ по нему; графики поступления на объект основных материалов, конструкций и оборудования; графики работы основных строительных машин; технологические карты и схемы выполнения сложных работ; рабочие чертежи временных зданий и сооружений и внутрипостроечных дорог; мероприятия по технике безопасности.

Разработке проектов особо крупных и сложных ГЭС нередко предшествует составление ТЭО – технико-экономического обоснования проекта. В нём определяют основные параметры и ориентировочную стоимость гидроузла, которая не подлежит изменению на последующих стадиях проектирования. Стоимость проектных и изыскательских работ при этом в целом составляет примерно 2,5% от капитальных вложений или до 4% от сметной стоимости строительно-монтажных работ проектируемой ГЭС.

Все разработанные проекты ГЭС подлежат согласованию и утверждению в установленном порядке. Проекты наиболее крупных и важных для народного хозяйства сооружений (особенно при строительстве их с участием капиталовложений из госбюджета) утверждаются после прохождения экспертизы Госстроя РФ Советом Министров Российской Федерации. Проекты прочих гидроузлов проходят ведомственную (в том числе, экологическую) экспертизу и утверждаются ведомствами-заказчиками.

5.4. ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Инженерные сооружения являются составной частью автодорог: наряду с земельным полотном и дорожной одеждой обеспечивают бесперебойность и безопасность движения автомобильного транспорта и пешеходов.

Дорога – обустроенное или приспособленное и используемое для движения транспортных средств полоса земли, либо поверхность искусственного сооружения. Дорога включает в себя одну или несколько проезжих частей, а также трамвайные пути, тротуары, обочины и разделительные полосы. К инженерным сооружениям на дороге относятся все здания и сооружения, предназначенные для её нормальной эксплуатации. Этими сооружениями могут быть павильон автобусной остановки, мост, водопропускная труба, автозаправки. При этом разнообразии все эти сооружения можно разделить на функциональные и сопутствующие. К необходимым инженерным сооружениям относятся такие, без которых нормальное функционирование дороги невозможно:

- трубы;

- мосты;
- путепроводы, эстакады;
- виадуки;
- подпорные стены.

К сопутствующим можно отнести такие, без которых возможна эксплуатация дороги, но при этом уменьшается комфорт для транспорта и пешеходов, возникают трудности при эксплуатации транспорта и т.д.: автобусные павильоны; бензозаправки; отели. Для этих сооружений существуют инженерно-строительные нормы и правила.

Простейшими инженерными сооружениями на дорогах являются водопропускные трубы различной формы. Через эти трубы осуществляется пропуск небольших постоянных или временных водных потоков. При этом, обеспечивая водопонижение с одной стороны насыпи, поверхность земли не заливается водой и не обводит насыпь. Трубы устраивают всегда в понижениях рельефа и сквозь тело насыпи.

Основные наиболее капитальные, дорогостоящие инженерные сооружения – это мосты. Мосты предназначены для пропуска пешеходов, автомобильного транспорта над водной преградой. Мост должен при этом обеспечивать пропуск под ним речного, морского транспорта, ледоходов, лесосплава, высоких уровней воды. Очень близки по своим характеристикам к мостам так называемые сухопутные мосты – путепроводы, эстакады и виадуки.

Путепровод – это сухопутный мост, предназначенный для пропуска пешеходов и транспорта над транспортной коммуникацией. Устраивают в целях безопасного пересечения автомобильной дорогой этой коммуникации (ж/д, автодорога). Поскольку назначение путепровода – это развязка транспорта в различных уровнях, их устраивают с минимальной длиной, поэтому угол пересечения близок к 90 градусам, один или два пролёта – над коммуникацией, остальные части – в виде насыпи.

Транспортные эстакады, в отличие от путепроводов, имеют своей целью вывести проезжую часть дороги над поверхностью земли: ввод или вывод транспортных потоков в крупные города; устройство дорог на территориях, занятых промышленными предприятиями, памятниками культуры. Эстакада – это дорога по поверхности моста. Это обычно длинное сооружение, извилистое, многопролётное, чаще всего из железобетона. Виадук – делают при пересечении автомобильной и железной дорог очень глубоких понижений. Возникает проблема: что выгоднее – или сделать высокую насыпь, или перекрыть виадуком.

Тоннели проектируют по своим нормативным документам, так как это ещё более сложные сооружения, чем мосты. Сооружения на горных дорогах имеют цель обеспечить устойчивость горных склонов, предотвратить опадание снежных лавин и камней на проезжую часть, устройство самой дороги на склонах.

К мостовым сооружениям предъявляются требования:

- эксплуатационные;

- экономические;
- экологические;
- архитектурные;
- расчётно-конструктивные.

Эксплуатационные требования являются основными требованиями и сводятся к тому, чтобы сооружение в течение заданного срока эксплуатации имело заданную грузоподъёмность, обеспечивало безопасность и комфортность пропуска по нему пешеходов и транспортных средств без снижения скорости. Для этого сооружение должно:

- иметь достаточную жёсткость, чтобы деформации и перемещения при движении нагрузки не были чрезмерными, не расстраивали соединений и не отражались на безопасности движения;
- иметь необходимую ширину проезжей части и тротуаров в зависимости от его назначения с учётом перспективы его роста интенсивности движения;
- иметь благоприятный для безопасности движения поперечный и продольный профиль. Быть долговечным, сконструированным из прочных материалов, мостовое полотно должно быть выполнено из износостойкого материала и обеспечено надёжным отводом воды;
- обеспечивать безопасный пропуск паводков и ледохода, удовлетворять условиям судоходства;
- обеспечивать возможность его осмотра, ремонта и реконструкции.

Экономические требования определяют, чтобы полная стоимость сооружения, при заданном сроке его службы, включая стоимость строительства, содержания, ремонта и возможной реконструкции, была минимальной.

Экологические требования определяются интересами охраны окружающей среды.

Архитектурные требования обеспечивают, чтобы форма сооружения соответствовала представлениям о красоте и гармонии с окружающей местностью или городской застройкой.

Расчётно-конструктивные требования предназначены, чтобы сооружение в целом и его отдельные элементы должны быть рационально прочными, устойчивыми и жёсткими.

К потребительским свойствам сооружений относятся:

- пропускная способность, должна обеспечивать максимально возможную интенсивность транспортного движения, а также обеспечивать возможность пропуска под ним в поперечном сечении судов, водного потока, ледохода, транспорта коммуникаций;
- грузоподъёмность моста – характеристика, определяемая максимальной временной подвижной нагрузкой определённого вида, воздействие которой является безопасным для его несущих элементов при расчёте по первому предельному состоянию. Для эксплуатируемых мостов грузоподъёмность характеризуется величиной предельной массы транспортного средства определённого вида;

- безопасность движения транспортных средств, характеризуется максимальной допустимой скоростью автомобильного движения по транспортным сооружениям;

- безопасность движения пешеходов, обеспечивается требованиями к прочности и высоте перильных ограждений и к качеству покрытия тротуаров;

- долговечность транспортного сооружения – свойство сохранять работоспособное состояние при установленной системе содержания и ремонта в течение определённого времени без капитального ремонта или реконструкции, характеризуется ресурсом или сроком службы. На долговечность сооружения оказывает существенное влияние его живучесть – свойство сохранять несущую способность при повреждении или разрушении отдельных его частей или элементов.

Транспортные сооружения предназначены для достаточно быстрого передвижения автомобилей. Для этого поверхность проезжей части делают ровной, без резких изменений траектории движения. Мостовые сооружения, являясь частью транспортного сооружения – автомобильной дороги, не должны выпадать из общей направленности дороги. Водитель не должен различать, где он едет. Условия движения не должны отличаться. Для этого при проектировании и эксплуатации мостов предусматривают некоторые границы, в пределах которых возможны деформации и перемещения частей и элементов сооружения. Деформация – это изменение формы, размеров. Перемещение – изменение положения в пространстве, отклонение от первоначального положения.

Для транспортных сооружений главным является сохранение возможности проезда по ним транспорта без неприятных ощущений. Поэтому для них практически не даются конкретные существенные значения деформации и перемещения. Они зависят от размеров сооружения, скорости движения, схемы сооружения и прочего. В мостах, путепроводах и эстакадах следует обеспечить плавность передвижения транспорта по пролётным строениям и неизменность положения конструкции. Поскольку минимальные размеры сооружения оказывают значительное влияние на перемещение и деформации, то для этих сооружений приняты следующие основные пределы:

- прогиб конструкций не должен превышать $\frac{1}{400}l$:

$$f \leq \left(\frac{1}{400}\right) \cdot l,$$

где l – длина конструкции. Для конструкций из дерева максимальный прогиб может быть увеличен в 2 раза;

- изменение продольного профиля (появление дополнительных углов перелома), вызванное неравномерной осадкой опор, не должно превышать 2 промилле;

- фактические деформации и перемещения не должны вызывать падения пролётных строений с опор, поэтому верх опор делают с некоторым запасом.

5.5. МОНИТОРИНГ И НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Понятие мониторинга технического состояния зданий и сооружений введено в систему нормативной документации с вступлением в действие ГОСТ 31937–2011. Мониторинг технического состояния зданий и сооружений проводят для:

- контроля технического состояния зданий и сооружений и своевременного принятия мер по устранению возникающих негативных факторов, ведущих к ухудшению этого состояния;
- выявления объектов, на которых произошли изменения напряжённо-деформированного состояния несущих конструкций и для которых необходимо обследование их технического состояния;
- обеспечения безопасного функционирования зданий и сооружений за счёт своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряжённо-деформированного состояния конструкций и грунтов оснований, которые могут повлечь переход объектов в ограниченно работоспособное или в аварийное состояние;
- отслеживания степени и скорости изменения технического состояния объекта и принятия в случае необходимости экстренных мер по предотвращению его обрушения.

Первое обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не позднее чем через два года после их ввода в эксплуатацию. В дальнейшем обследование технического состояния зданий и сооружений проводится не реже одного раза в 10 лет и не реже одного раза в пять лет для зданий и сооружений или их отдельных элементов, работающих в неблагоприятных условиях (агрессивные среды, вибрации, повышенная влажность, сейсмичность района 7 баллов и более и др.). Для уникальных зданий и сооружений устанавливается постоянный режим мониторинга.

Обследование и мониторинг технического состояния зданий и сооружений проводят также:

- по истечении нормативных сроков эксплуатации зданий и сооружений;
- при обнаружении значительных дефектов, повреждений и деформаций в процессе технического обслуживания, осуществляемого собственником здания (сооружения);
- по результатам последствий пожаров, стихийных бедствий, аварий, связанных с разрушением здания (сооружения);
- по инициативе собственника объекта;
- при изменении технологического назначения здания (сооружения);
- по предписанию органов, уполномоченных на ведение государственного строительного надзора.

При обследовании технического состояния зданий и сооружений проводят:

- обследование технического состояния оснований и фундаментов;
- обследование технического состояния конструкций зданий;
- обследование технического состояния инженерного оборудования;
- обследование технического состояния электрических сетей и средств связи;
- обследование звукоизоляции ограждающих конструкций, шума инженерного оборудования, вибраций и внешнего шума;
- определение теплотехнических показателей наружных ограждающих конструкций.

В результате проведения каждого этапа мониторинга должна быть получена информация, достаточная для подготовки обоснованного заключения о текущем техническом состоянии здания или сооружения и выдачи краткосрочного прогноза о его состоянии на ближайший период. Первоначальным этапом мониторинга технического состояния зданий и сооружений (за исключением общего мониторинга технического состояния зданий и сооружений) является установление категории технического состояния зданий и сооружений, фиксация дефектов конструкций, за изменением состояния которых (а также за возникновением новых дефектов) будут осуществляться наблюдения при мониторинге.

При выборе системы наблюдений необходимо учитывать цель проведения мониторинга, а также скорости протекания процессов и их изменение во времени, продолжительность измерений, ошибки измерений, в том числе за счёт изменения состояния окружающей среды, а также влияния помех и аномалий природно-техногенного характера. Программу проведения мониторинга согласовывают с заказчиком. В ней, наряду с перечислением видов работ, устанавливают периодичность наблюдений с учётом технического состояния объекта и общую продолжительность мониторинга. Методика и объём системы наблюдений при мониторинге, включая измерения, должны обеспечивать достоверность и полноту получаемой информации для подготовки исполнителем обоснованного заключения о текущем техническом состоянии объекта (объектов). В ходе длительных наблюдений и при изменении внешних условий необходимо обеспечить учёт изменения условий и компенсационные поправки (температурные, влажностные и т.п.) для измерительных устройств. Используемые для наблюдений средства измерений и оборудование должны быть сертифицированы, проверены (калиброваны) и аттестованы уполномоченными органами.

В случае получения на каком-либо этапе мониторинга данных, указывающих на ухудшение технического состояния всей конструкции или её элементов, которое может привести к обрушению здания или сооружения, организация, проводящая мониторинг, должна немедленно проинформировать об этом, в том числе в письменном виде, собственника объекта, эксплуатирующую организацию, местные органы исполнительной власти, территориальные органы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных

бедствий, на объектах, поднадзорных Ростехнадзору, – также территориальные органы Ростехнадзора.

В мониторинге технического состояния зданий и сооружений различают:

- общий мониторинг технического состояния зданий и сооружений;
- мониторинг технического состояния зданий и сооружений, находящихся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии;
- мониторинг технического состояния зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства, реконструкции или природно-техногенных воздействий, например, находящихся в зоне повышенной сейсмической активности;
- мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений.

Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений – система наблюдения и контроля, проводимая по определённой программе для обеспечения безопасного функционирования зданий и сооружений за счёт своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряжённо-деформированного состояния конструкций и грунтов оснований или крена, которые могут повлечь за собой переход объектов в ограниченно работоспособное или в аварийное состояние.

Состав работ по мониторингу технического состояния оснований и строительных конструкций уникальных зданий и сооружений регламентируется индивидуальными программами проведения измерений и анализа состояния несущих конструкций в зависимости от технического решения здания или сооружения и его деформационного состояния.

В эксплуатируемом уникальном здании или сооружении, как правило, доступ к большей части несущих конструкций существенно ограничен, а работы по традиционному обследованию технического состояния конструкций трудоёмки и дороги. Для таких объектов применяют специальные методы и технические средства раннего выявления и локализации мест изменения напряжённо-деформированного состояния конструкций с последующим обследованием технического состояния выявленных опасных участков конструкций.

Мониторинг уникальных зданий и сооружений носит обязательный характер. Системы для такого мониторинга должны разрабатываться на стадии проектирования и устанавливаться во время строительства для обеспечения наблюдения за состоянием конструкций в постоянном режиме. Для этого вида мониторинга используются комплексные автоматические стационарные системы, разрабатываемые индивидуально для каждого здания, которые должны обеспечивать в автоматизированном режиме – и других параметров (деформации, давление и др.). Настройку автоматизированной стационарной системы мониторинга осуществляют, как правило, с использованием заранее разработанной математической модели для проведения комплексных инже-

нерных расчётов по оценке возникновения и развития дефектов в строительных конструкциях, в том числе и в кризисных ситуациях.

Автоматизированная стационарная система мониторинга технического состояния оснований и строительных конструкций должна:

- проводить комплексную обработку результатов проводимых измерений;
- проводить анализ различных измеренных параметров строительных конструкций (динамических, деформационных, геодезических и др.) и сравнение с их предельными допустимыми значениями;
- предоставлять достаточную информацию для выявления на ранней стадии тенденции негативного изменения напряжённо-деформированного состояния конструкций, которое может привести к переходу объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

При выявлении мест изменения напряжённо-деформированного состояния конструкций проводят обследование этих частей, и по его результатам делают выводы о техническом состоянии конструкций, причинах изменения их напряжённо-деформированного состояния и необходимости принятия мер по восстановлению или усилению конструкций. По результатам мониторинга технического состояния оснований и строительных конструкций уникальных зданий и сооружений выдают заключение, форма которого должна быть разработана по результатам проектирования автоматизированной стационарной системы мониторинга технического состояния оснований и строительных конструкций.

При этом для более эффективного предупреждения развития аварийных ситуаций такие системы должны дополняться процессами периодического контроля физических и геометрических параметров технического состояния конструкций.

Инструментальный мониторинг конструкций и оснований зданий опирается в основном на четыре класса методик:

- 1) геодезические измерения;
- 2) инженерно-геологические наблюдения;
- 3) измерения нагрузок и деформаций в конструкциях фундамента и надземной части;
- 4) сейсмометрические методики.

Периодическое проводимое обследование технического состояния сооружений и зданий рекомендовано действующими в области обследования технического состояния сооружений и зданий нормативно-техническими документами.

Требования к мониторингу общей безопасности объектов (с комплексной оценкой риска) на случай возникновения аварийных воздействий природного и техногенного характера представлены в ГОСТ 31937–2011 (2014) «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Лекция 6

НАДЁЖНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Надёжность сооружения закладывается при разработке проекта и поддерживается на заданном уровне при эксплуатации за счёт ремонта. При проектировании закладывается надёжность конструкций исходя из требований норм на проектирование (нормативная надёжность), которая косвенно отображает необходимый запас прочности конструкций на восприятие действующих нагрузок. При эксплуатации конструкций сооружения его надёжность с течением времени, как правило, падает и может быть ниже нормативной надёжности. В этом случае возникает необходимость в ремонте. С помощью ремонта можно продлевать работу сооружений практически неограниченно. В связи с этим для обеспечения надёжности сооружения имеет значение его ремонтпригодность, представляющая собой приспособленность конструкций к периодическим осмотрам и ремонтам. Время ремонта может быть назначено на основе прогнозирования снижения надёжности сооружений и установления их безопасного уровня повреждённости. Мерой надёжности сооружения служит его вероятность разрушения (частота вероятного разрушения сооружения в год). На практике надёжность сооружения косвенно может быть оценена в виде коэффициента запаса прочности сооружения, категорией его технического состояния или условной надёжностью в баллах.

Старение и износ конструкций и инженерного оборудования приводят к изменению их функциональных параметров. В отдельных конструкциях и элементах инженерного оборудования могут насчитываться десятки параметров, определяющих их техническое состояние. В целом в здании или сооружении количество параметров так велико, что сложно сделать какое-либо заключение об их техническом состоянии. Поэтому на практике стремятся использовать укрупнённые показатели, с помощью которых можно было бы судить о техническом состоянии объекта. Наиболее широко используемым обобщённым показателем технического состояния здания и его элементов является физический износ. Он определяется путём сравнения признаков, выявленных при визуальном или инструментальном обследовании, с характерными признаками, приведёнными в специальных таблицах. Однако оценка состояния здания на основании физического износа во многих случаях бывает недостаточной. Во-первых, при такой оценке сложно спрогнозировать дальнейшее изменение состояния здания. Во-вторых, проводимые планово-предупредительные ремонты во многих случаях ликвидируют внешние признаки развития дефектов и неисправностей, особенно в начальной стадии.

Любое здание или сооружение должно отвечать определённым требованиям (техническим, экономическим, экологическим и т.п.). Поэтому о состоянии объекта можно судить по тому, соответствует ли он предъявляемым к нему требованиям или нет, а также насколько реализуется такое соответствие

(в процентах, в долях единиц и т.п.). В последнее время такая оценка находит всё более широкое применение. В основе её лежит теория надёжности.

С помощью теории надёжности возможно:

- разработать рациональную систему контроля за состоянием элементов здания и системы поиска неисправностей. Для достижения заданного уровня надёжности параметров объекта определить полноту и глубину контроля, последовательность проверки элементов при отказе какой-либо части объекта, выработать рекомендации по целесообразности применения контроля;

- разработать стратегию восстановления (проведения плановых капитальных ремонтов) конструктивных элементов и инженерного оборудования, учитывающую социальные, экономические факторы;

- определить периодичность и объём профилактических мероприятий и регламентированных обслуживаний (в первую очередь это относится к инженерному оборудованию);

- обосновать требуемую комплектацию запасными частями, элементами и материалами;

- оценить целесообразность различных режимов функционирования объектов и их инженерных систем (допустимости и параметров перерывов функционирования при авариях и выполнении плановых работ и т.д.);

- определить техническое состояние конструкции на любой момент времени и сделать прогноз об его изменении в дальнейшей эксплуатации.

6.1. ПАРАМЕТРЫ НАДЁЖНОСТИ

Надёжность здания определяется надёжностью составляющих элементов, которые в соответствии с ГОСТ Р 27.102–2021 характеризуются тремя основными свойствами:

- 1) безотказностью, т.е. сохранением работоспособности без вынужденных перерывов в течение заданного периода времени до появления первого отказа (межремонтный период);

- 2) долговечностью, т.е. сохранением работоспособности до наступления предельного состояния с перерывами на ремонтно-наладочные работы и устранения возникших неисправностей;

- 3) ремонтпригодностью элементов здания к предупреждению и устранению отказов и повреждений путём проведения технического обслуживания и выполнения плановых и неплановых ремонтов.

За безотказность обычно принимают отношение числа однотипных элементов, которые за данный промежуток времени могут работать безотказно, к общему числу этих элементов, что определяется следующей формулой:

$$P = \frac{N}{N_0},$$

где P – безотказность элемента за данный промежуток времени; N – общее число элементов данного типа; N_0 – число элементов данного типа, проработавших безотказно в течение данного промежутка времени.

Долговечность характеризуется временем, в течение которого в зданиях и сооружениях сохраняются эксплуатационные качества на заданном в проекте (нормах) уровне при условии проведения ремонтных работ. Долговечность зависит от физико-технических характеристик конструкций: прочности, тепло-, звукоизоляции, герметичности и других параметров.

По долговечности элементы здания делятся на три группы:

- I группа – незаменимые элементы (фундаменты, стены, каркас железобетонный, железобетонные перекрытия, покрытия), срок службы таких элементов совпадает со сроком службы здания и составляет 100 – 150 лет;

- II группа – заменяемые при комплексном капитальном ремонте с одновременной модернизацией (перегородки, полы, окна, двери, инженерное оборудование, деревянные перекрытия, крыши и др.), срок службы таких элементов составляет 25 – 50 лет;

- III группа – заменяемые при выборочном и планово-предупредительном ремонтах (кровля, внутренняя и наружная отделка (без штукатурки), стыки панелей и др.), срок службы таких элементов составляет 5 – 9 лет.

Сроки службы отдельных элементов, оборудования жилых и общественных зданий принимают по усреднённым статистическим данным о продолжительности их службы до первой полной замены или восстановления.

Усреднённые нормативные сроки службы жилых и общественных зданий, их конструктивных элементов, отделки и оборудования установлены с учётом выполнения всех видов планово-предупредительного ремонта в строго установленные сроки. Следует отметить, что продолжительность безотказной работы элементов здания и его инженерных систем неодинаковы. За основу безотказного срока службы здания (его долговечности) принимают средний, безотказный срок службы несменяемых элементов. За этот срок другие, сменяемые элементы могут быть заменены от 2 до 12 раз. Особенно частой замене подвергаются инженерные системы холодного и горячего водоснабжения и центрального отопления.

Оптимальная долговечность здания определяется таким моментом времени, в котором остаточная стоимость здания становится равной стоимости его обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность конструкций – экономический показатель, определяется отношением стоимости ремонта к стоимости возведения новой конструкции:

$$P = \frac{C_{\text{рем}}}{C_{\text{н.к}}},$$

где P – ремонтпригодность; $C_{\text{рем}}$ – стоимость ремонта; $C_{\text{н.к}}$ – стоимость новой конструкции.

Конструкция считается ремонтпригодной, если $P = 0,5 \dots 0,8$. При $P > 0,8$ конструкция неремонтпригодна.

Здания и сооружения состоят из элементов, имеющих разный срок службы из-за разной прочности и долговечности материалов, поэтому ремонтпригодность является важным показателем для их эксплуатации. Кроме

того, желательнее, чтобы как можно больше элементов имели одинаковый межремонтный период (период безотказности).

Следует иметь в виду, что показатель ремонтпригодности рассматривается только для конструкций зданий и сооружений, не являющихся памятниками истории и культуры.

Для объектов культурного наследия понятие ремонтпригодности не применяется, а ремонтно-реставрационные работы проводятся на основании научно-технических исследований с обоснованием применяемых конструктивных приёмов и технологий с точки зрения максимальной сохранности исторических фрагментов.

Показателем надёжности является количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надёжность объекта.

К параметрам, характеризующим надёжность строительных конструкций и оснований, относят:

- расчётные значения нагрузок;
- внутренние усилия, напряжения в элементах;
- деформации и перемещения конструкций, узлов, оснований;
- раскрытие трещин.

Обследование строительных конструкций состоит из трёх основных этапов:

1) первоначальное ознакомление с проектной документацией, рабочими и исполнительными чертежами, актами на скрытые работы;

2) визуальный осмотр объекта, установление его соответствия проекту, выявление видимых дефектов (наличие трещин, протечек, коррозии металла, дефектов стыковых сварных и болтовых соединений и т.д.), составление плана обследования здания или сооружения, проведение комплекса исследований неразрушающими методами;

3) анализ состояния здания или сооружения и разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов.

Ознакомление с проектной и исполнительной документацией позволяет дать оценку принятым конструктивным решениям, выявить элементы здания или сооружения, работающие в наиболее тяжёлых условиях, установить значения действующих нагрузок.

Визуальная оценка здания или сооружения даёт первую исходную информацию о состоянии обследуемой конструкции, позволяет судить о степени износа элементов конструкции и решить вопрос о проведении статических или динамических испытаний. В первую очередь это связано с применением неразрушающих методов испытаний, т.е. методов, которые не приводят к разрушению отдельных элементов и конструкции в целом.

При обследовании широко применяются методы инженерной геодезии, с помощью которых измеряются осадки зданий и сооружений, сдвиговые деформации грунта, параметры трещин и деформационных швов, прогибы и др. В последнее время эффективно развиваются методы лазерной интерференции.

Аналогичные методы используются при контроле качества изготовления элементов строительных конструкций и их монтажа на строительных площадках.

Обследование строительных конструкций, зданий и сооружений содержит в себе методы контроля качества изготовления и монтажа элементов строительных конструкций, обеспечивающие соответствие объекта проектным значениям и отображение действительной работы систем.

Материалы, применяемые для приготовления бетонов, должны удовлетворять требованиям ГОСТов на эти материалы и обеспечивать получение бетонов требуемых классов по прочности и марок по морозостойкости и водопроницаемости.

Изучение состояния монтируемой или эксплуатируемой конструкции при работе в реальных условиях обеспечивается теми же методами, что и при контроле качества их изготовления. Однако зачастую возникает ситуация, когда для эксплуатируемого объекта отсутствует проектная и рабочая документация, тогда её восстановление связано с изучением реальных условий работы системы. К подобной ситуации относится и тот случай, когда необходимо определить работоспособность системы с учётом отклонения её параметров от проектных.

Повышенные требования предъявляются к методам обследования при анализе причин аварий в результате повреждений конструкций в процессе монтажа и эксплуатации, а также катастроф-аварий, повлекших за собой человеческие жертвы. Проводимые обследования позволяют выявить наиболее характерные дефекты и разработать рекомендации по уточнению методов расчёта тех или иных конструкций, совершенствованию конструктивных схем, технологии изготовления и монтажа строительных конструкций.

В современном строительстве широко применяются железобетонные, металлические и деревянные конструкции. С каждым годом разрабатываются и применяются всё более совершенные, в том числе предварительно напряжённые и большегабаритные железобетонные, металлические и деревянные конструкции (фермы пролётом более 50 м, колонны высотой более 25 м, балки покрытий пролётом более 24 м и др.).

Распространение таких конструкций стало возможным и экономически целесообразным главным образом в связи с повышением прочностных характеристик бетонов, сталей, древесносодержащих материалов, а также благодаря появлению новых конструктивных решений, современных технологий изготовления материалов и конструкций, например деревянных, гибридных конструкций и т.д.

Лабораторные испытания и практика применения таких конструкций показали их надёжность и простоту изготовления. Однако несущую способность крупногабаритных конструкций необходимо тщательно проверять, так как в производственных условиях не исключена возможность отдельных нарушений технических условий и проектных указаний. Поэтому наряду с испытанием большинства внедряемых крупногабаритных конструкций

в лабораторных условиях, на макетах или полигонах почти во всех случаях один или несколько образцов таких конструкций должны быть испытаны в тех условиях, в которых намечено их массовое изготовление и применение. Только после испытания конструкции статической нагрузкой можно судить о её фактической прочности, деформативности, трещиностойкости. Надёжность анкерных устройств в предварительно напряжённых конструкциях, прочность сжатых и растянутых стыков при блочной сборке конструкций, прочность узлов при концентрации в них местных напряжений могут быть установлены только при испытаниях натуральных фрагментов.

Общая проверка качества работ (например, правильность и точность сборки арматуры, плотность укладки бетона в конструкцию, прочность материалов, входящих в элемент здания) может быть выполнена также лишь на основе испытаний.

Необходимо отметить, что при испытании конструкций, зданий и сооружений не подменяют другие способы контроля качества работ, например испытания контрольных кубов, призм, образцов арматуры, составление актов на скрытые работы.

Все эти способы контроля сохраняют своё самостоятельное значение и должны выполняться со всей тщательностью, несмотря на последующее испытание конструкции в целом.

Можно сформулировать три основные задачи, которые решаются с помощью методов и средств испытания строительных конструкций зданий или сооружений:

- первая – определение теплофизических, структурных, прочностных и деформативных свойств конструкционных материалов и выявление характера внешних воздействий, передаваемых на конструкции;
- вторая – сопоставление расчётных схем строительных конструкций, действующих усилий и перемещений с аналогичными параметрами, возникающими в реальной конструкции;
- третья – идентификация расчётных моделей, которая получила развитие в последние годы. Эта задача связана с синтезом расчётных схем, который следует из анализа результатов проведённых исследований.

6.2. ТРЕБОВАНИЯ К ЗДАНИЯМ И СООРУЖЕНИЯМ

Для каждого сооружения необходимо установить его класс (КС-1, КС-2 или КС-3) в зависимости от его назначения, а также социальных, экологических и экономических последствий их повреждений и разрушений.

Класс сооружений устанавливается в задании на проектирование генпроектировщиком по согласованию с заказчиком в соответствии с классификацией.

Основным условием надёжности строительных объектов являются выполнения требований (критериев) для всех учитываемых предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчётных нагрузок в течение расчётного срока службы.

Надёжность строительных конструкций и оснований следует обеспечивать на стадии разработки общей концепции сооружения, при его проектировании, изготовлении его конструктивных элементов, строительстве и эксплуатации.

При особых воздействиях надёжность строительных конструкций дополнительно следует обеспечивать за счёт проведения одного или нескольких специальных мероприятий, включающих в себя:

- выбор материалов и конструктивных решений, которые при аварийном выходе из строя или локальном повреждении отдельных несущих элементов конструкций не приводят к прогрессирующему обрушению сооружения;
- предотвращение или снижение возможности реализации подобных воздействий на несущие конструкции;
- использование комплекса специальных организационных мероприятий, обеспечивающих ограничение и контроль доступа посторонних лиц к основным несущим конструкциям сооружения.

Принятые проектные и конструктивные решения должны быть обоснованы результатами расчёта по предельным состояниям сооружений в целом, их конструктивных элементов и соединений, а также при необходимости данными экспериментальных исследований, в результате которых устанавливаются основные параметры строительных объектов, их несущую способность и воспринимаемые ими воздействия.

Для сооружений класса КС-3, при проектировании которых использованы не апробированные ранее конструктивные решения или для которых не существует надёжных методов расчёта, необходимо использовать данные экспериментальных исследований на моделях или натурных конструкциях.

При проектировании и возведении сооружений необходимо учитывать их влияние на изменение условий эксплуатации и работы конструкций близлежащих сооружений, а также экологии окружающей среды.

При проектировании конструкций, воспринимающих динамические и циклические нагрузки или воздействия при необходимости следует применять специальные меры защиты (гасители колебаний, перфорация ограждающих конструкций, виброизоляция и др.). Проектирование конструктивных элементов, воспринимающих циклические нагрузки, должно проводиться с учётом результатов их поверочного расчёта на выносливость и усталостную прочность.

При расчёте конструкций должны быть рассмотрены следующие расчётные ситуации:

- установившаяся ситуация, имеющая продолжительность, близкую к сроку службы строительного объекта (например, эксплуатация между двумя капитальными ремонтами или изменениями технологического процесса);
- переходная ситуация, имеющая небольшую по сравнению со сроком службы строительного объекта продолжительность (например, изготовление,

транспортирование, монтаж, капитальный ремонт и реконструкция строительного объекта);

- аварийная ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

Для каждой учитываемой расчётной ситуации надёжность строительных конструкций должна быть обеспечена за счёт:

- расчёта сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов по всем учитываемым предельным состояниям;
- выбора и контроля исполнения оптимальных конструктивных решений, материалов, технологических процессов изготовления и монтажа строительных конструкций;
- создания условий, гарантирующих нормальную эксплуатацию строительных объектов;
- контроля технического состояния сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов;
- проведения организационных мероприятий, направленных на снижение возможности возникновения аварийных ситуаций и прогрессирующего обрушения сооружений.

Также определённые требования предъявляются и к расчётным моделям строительных конструкций. *Расчётные модели (расчётные схемы)* строительных объектов должны отражать действительные условия их работы и соответствовать рассматриваемой расчётной ситуации. При этом должны быть учтены конструктивные особенности строительных объектов, особенности их поведения вплоть до достижения рассматриваемого предельного состояния, а также действующие нагрузки и воздействия, в том числе влияние на строительный объект внешней среды, а также возможные геометрические и физические несовершенства.

Расчётная схема включает в себя:

- расчётные модели нагрузок и воздействий;
- расчётные модели, описывающие напряжённо-деформированное состояние элементов конструкций и оснований;
- расчётные модели сопротивления.

Расчётные модели нагрузок должны включать в себя их интенсивность (величину), место приложения, направление и продолжительность действия. Для динамических воздействий дополнительно должны быть заданы функции изменения нагрузки во времени или характерные частоты и при необходимости фазовые углы и спектральные характеристики (энергетический спектр, авто- и взаимные корреляционные функции). В некоторых случаях необходимо учитывать зависимость воздействий от реакции сооружения (например, аэроупругие эффекты при взаимодействии потока ветра с гибкими сооружениями). В случае если невозможно точно описать параметры нагрузок, целесообразно проведение нескольких расчётов с различными допущениями.

Расчётные модели напряжённо-деформированного состояния должны включать в себя определяющие соотношения, описывающие:

- реакцию сооружений и их конструктивных элементов при динамических и статических нагрузках;
- условия взаимодействия конструктивных элементов между собой и с основанием.

При этом должны быть установлены:

- упругие или неупругие характеристики конструктивных элементов и основания;
- параметры, характеризующие геометрически линейную или нелинейную работу конструкций;
- физические и реологические свойства, эффекты деградации.

Расчётные модели сопротивления строительных конструкций должны включать в себя:

- расчётные модели местной прочности и устойчивости, модели прочности и устойчивости элемента, модели общей устойчивости строительного объекта;
- расчётные модели мгновенной прочности и модели, учитывающие накопление повреждений во времени;
- расчётные модели прочности и деформирования основания.

В некоторых случаях, устанавливаемых в задании на проектирование, расчёт необходимо выполнять с использованием данных экспериментальных исследований реальных строительных конструкций или моделей строительных объектов. Подготовку и проведение подобных испытаний, а также оценку полученных результатов следует осуществлять так, чтобы условия эксперимента были подобны условиям работы проектируемой конструкции (во время её эксплуатации и возведения). Условия, которые не моделируются в процессе проведения эксперимента (например, долговременные характеристики), необходимо учитывать при проектировании на основе анализа полученных результатов и при необходимости за счёт использования коэффициентов надёжности.

Федеральным законом устанавливаются минимально необходимые требования к зданиям и сооружениям (в том числе к входящим в их состав сетям инженерно-технического обеспечения и системам инженерно-технического обеспечения), а также к связанным со зданиями и с сооружениями процессам проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса), в том числе требования:

- механической безопасности;
- пожарной безопасности;
- безопасности при опасных природных процессах и явлениях и(или) техногенных воздействиях;
- безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях;

- безопасности для пользователей зданиями и сооружениями;
- доступности зданий и сооружений для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения;
- энергетической эффективности зданий и сооружений;
- безопасного уровня воздействия зданий и сооружений на окружающую среду.

Согласно механическим требованиям о безопасности зданий строительные конструкции и основание здания или сооружения должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений в результате:

- разрушения отдельных несущих строительных конструкций или их частей;
- разрушения всего здания, сооружения или их части;
- деформации недопустимой величины строительных конструкций, основания здания или сооружения и геологических массивов прилегающей территории;
- повреждения части здания или сооружения, сетей инженерно-технического обеспечения или систем инженерно-технического обеспечения в результате деформации, перемещений либо потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности.

Выполнение требований механической безопасности в проектной документации здания или сооружения должно быть обосновано расчётами и иными способами, подтверждающими, что в процессе строительства и эксплуатации здания или сооружения его строительные конструкции и основание не достигнут предельного состояния по прочности и устойчивости при различных наиболее неблагоприятных вариантах одновременного действия нагрузок и воздействий.

За предельное состояние строительных конструкций и основания по прочности и устойчивости должно быть принято состояние, характеризующееся:

- разрушением любого характера;
- потерей устойчивости формы;
- потерей устойчивости положения;
- нарушением эксплуатационной пригодности и иными явлениями, связанными с угрозой причинения вреда жизни и здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

В расчётах строительных конструкций и основания должны быть учтены все виды нагрузок, соответствующих функциональному назначению и конструктивному решению здания или сооружения, климатические, а в необходимых случаях технологические воздействия, а также усилия, вызываемые деформацией строительных конструкций и основания. Для элементов строительных конструкций, характеристики которых, учтённые в расчётах прочности и устойчивости здания или сооружения, могут изменяться в процессе эксплуатации под воздействием климатических факторов или агрессивных факторов наружной и внутренней среды, в том числе под воздействием технологических процессов, которые могут вызывать усталостные явления в материале строительных конструкций, в проектной документации должны быть дополнительно указаны параметры, характеризующие сопротивление таким воздействиям, или мероприятия по защите от них.

Здание или сооружение должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе эксплуатации здания или сооружения исключалась возможность возникновения пожара, обеспечивалось предотвращение или ограничение опасности задымления здания или сооружения при пожаре и воздействия опасных факторов пожара на людей и имущество, обеспечивались защита людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и(или) ограничение последствий воздействия опасных факторов пожара на здание или сооружение, а также чтобы в случае возникновения пожара соблюдались следующие требования:

- сохранение устойчивости здания или сооружения, а также прочности несущих строительных конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей и выполнения других действий, направленных на сокращение ущерба от пожара;
- ограничение образования и распространения опасных факторов пожара;
- нераспространение пожара на соседние здания и сооружения;
- эвакуация людей (с учётом особенностей инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения) в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия опасных факторов пожара;
- возможность доступа личного состава подразделений пожарной охраны и доставки средств пожаротушения в любое помещение здания или сооружения;
- возможность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара;
- возможность проведения мероприятий по спасению людей и сокращению наносимого пожаром ущерба имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

Здание или сооружение на территории, на которой возможно проявление опасных природных процессов и явлений и(или) техногенных воздей-

ствий, должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе эксплуатации здания или сооружения опасные природные процессы и явления и(или) техногенные воздействия не вызывали последствий, указанных в федеральных законах, и(или) иных собитий, создающих угрозу причинения вреда жизни или здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

6.3. ЗАКОНОДАТЕЛЬНАЯ И КОНСТРУКТИВНАЯ БАЗА

В соответствии с Федеральным законом от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» безопасность зданий и сооружений, а также связанных со зданиями и с сооружениями процессов проектирования (включая изыскания), строительства, монтажа, наладки, эксплуатации и утилизации (сноса) обеспечивается посредством соблюдения требований Федерального закона и требований стандартов и сводов правил, включённых в указанные части 1 и 7 статьи 6 Федерального закона перечни, или требований специальных технических условий.

Общие требования к безопасности зданий и сооружений отражены в Федеральном законе от 30.12.2009 № 384-ФЗ с последними изменениями от 02.07.2013 № 185-ФЗ. Этим же законодательным актом регламентируются требования к содержанию проектной документации, которая является частью технической документации на МКД (многоквартирные дома).

В проектной документации должны содержаться сведения о доме, которые в дальнейшем помогут соблюдать необходимые меры безопасности в здании. Проектная документация – документ, на основании которого принимаются все решения об обеспечении безопасности МКД на всех этапах жизненного цикла здания или сооружения (п. 10 ст. 15 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ). Так, из проектной документации можно узнать:

- как часто нужно осуществлять проверки, осмотры состояния строительных конструкций, основания, инженерно-технических сетей и систем;
- предельные допустимые значения эксплуатационных нагрузок на строительные конструкции, инженерно-технические сети и системы;
- сведения о том, где находятся скрытые электропроводки, трубопроводы и другие устройства.

Для соблюдения технического регламента УО (управление объектом) должна обеспечиваться безопасность зданий, а также поддерживаться соответствие характеристик строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения таких зданий в процессе эксплуатации требованиям проектной документации (ч. 1, 2 ст. 36 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ).

Для этого необходимо:

- выполнять техническое обслуживание строительных конструкций зданий и систем инженерно-технического обслуживания;

- выполнять периодические осмотры, контрольные проверки и(или) мониторинг состояния основания, строительных конструкций, систем инженерно-технического обеспечения здания (ч. 1, 2 ст. 36 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ);

- осуществлять текущий ремонт основания, строительных конструкций, систем инженерно-технического обеспечения здания.

УО должна проверять (п. 1 ч. 2 ст. 40 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ):

- соответствует ли здание требованиям, установленным в проектной документации: обследовать основание здания, строительные конструкции и системы инженерно-технического обеспечения;

- соответствуют ли процессы эксплуатации зданий требованиям, установленным в проектной документации.

Одним из основных документов является ГОСТ 27751–2014 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения». Данный нормативный документ устанавливает общие принципы обеспечения надёжности строительных конструкций и оснований. Его следует применять при проектировании, расчёте, возведении, реконструкции, изготовлении и эксплуатации строительных объектов, а также при разработке нормативных документов и стандартов.

6.4. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Для обеспечения надёжности строительных объектов должны быть определены прочностные характеристики зданий и сооружений и выполнено сопоставление их со всеми видами нагрузок и воздействий, которые могут возникнуть за расчётный период эксплуатации. При обнаружении недостаточной устойчивости и несущей способности строительных объектов по отношению к действующим нагрузкам и воздействиям должны выполняться следующие виды работ:

- обследование с помощью приборов и инструментов все объекты, надёжность которых вызывает сомнения или опасения;

- определение прочностных характеристик несущих конструкций и оценка состояния грунтов оснований с учётом их поведения при вибрационных и других нагрузках, способных снизить устойчивость грунтовой среды или вызвать повреждения фундаментов;

- разработка проекта усиления или реконструкции, исключающего повреждения или разрушения объекта либо потерю его общей устойчивости при возможных и ожидаемых нагрузках и воздействиях в чрезвычайных ситуациях;

- в соответствии с разработанным проектом выполнение необходимого комплекса усиления или реконструкции строительного объекта;

- осуществление строгого контроля качества выполнения строительно-монтажных работ с учётом повышенных требований, предусмотренных нормами и стандартами для районов с особыми нагрузками и воздействиями;
- при выполнении строительно-монтажных работ необходимо требовать сертификат качества на используемые материалы и конструкции с гарантированными сроками долговечности в течение расчётного периода эксплуатации объектов;
- приёмка в эксплуатацию усиленного либо реконструированного объекта осуществляется согласно нормам и стандартам в соответствии с материалами проекта и данными фактического исполнения;
- разработка рекомендаций по эксплуатации зданий и сооружений с учётом обеспечения их надёжности и долговечности при максимальных расчётных нагрузках и воздействиях в течение нормативного периода.

Повышение уровня надёжности строительных процессов является в конечном счёте одним из существенных факторов экономической эффективности строительного производства. Известно, что в строительстве скрытые и явные потери рабочего времени составляют до 30%.

Поэтому проектирование и осуществление строительно-монтажных работ не могут основываться только на жёстко детерминированных параметрах, установленных в ЕНиР, так как влияние многочисленных производственных факторов приводит к срыву выполнения запланированных объёмов работ и намеченных сроков ввода объектов в эксплуатацию. ЕНиР представляют собой нормативы, рассчитанные на высокоэффективное и высокомеханизированное производство работ при благоприятных метеорологических условиях, своевременных поставках строительных материалов и конструкций, бесперебойной работе строительных машин и механизмов, строго определённом численном и квалификационном составе звеньев и бригад рабочих.

В действительности, строительство ведётся в несколько других условиях, которые оказывают часто негативное влияние на фактическую величину параметров строительных процессов. Причём наибольшее влияние на эти процессы оказывают такие факторы, как вид и назначение строительного объекта, уровень механизации строительных процессов, а также их технологические особенности, природные и метеорологические условия.

Многие из перечисленных факторов могут быть устранены – например недостатки в материально-техническом снабжении, организации труда, неполная загрузка рабочих мест, ряд простоев, отсутствие фронта работ, рабочей документации и др. В целях повышения производительности труда время простоя может быть использовано для выполнения других процессов и операций на объекте, для чего их необходимо предусматривать в проектах производства работ.

Поэтому в качестве первого направления повышения уровня надёжности строительства ряд строительных организаций специально разрабатывают и внедряют в практику проектирования и строительства производственные нормативы, учитывающие фактически необходимое время на выполнение

работ в данных организационно-технических и территориальных условиях. Такие нормативы учитывают конкретную структуру объёмов работ, уровень технического обеспечения и организации строительных процессов, состав и квалификацию рабочих и другие условия, характерные именно для данной строительной организации. Эти нормы постоянно контролируются и ежегодно переутверждаются руководством строительной организации (стройтрест, объединение, корпорация).

Вторым направлением повышения организационно-технологической надёжности строительных процессов является устранение причин возникновения отказов. Эти причины весьма разнообразны и их удобно классифицировать по следующим видам:

- технические;
- технологические;
- организационные;
- управленческие;
- социальные;
- природно-климатические.

В данном случае наибольший интерес представляют технико-технологические причины возникновения отказов, например выход из строя инженерных сетей, оборудования, машин, механизмов, инструмента, приборов в результате поломки; низкое качество материалов, конструкций, изделий; нарушение требуемой технологии работ, недостаточная квалификация рабочих, ошибки проектирования и ряд других.

Учитывая, что устранение причин возникновения отказов является очень эффективным средством повышения надёжности строительных процессов, необходимо, чтобы в каждой строительной организации был хорошо налажен их оперативный учёт и анализ.

Рассматривая основные причины возникновения случайных отказов, можно всегда выделить ряд наиболее часто повторяющихся причин, характерных для условий работы каждой конкретной строительной организации или каждого конкретного строительного процесса. В результате анализа разрабатываются специальные организационно-технические мероприятия по устранению или уменьшению влияния на продолжительность простоев ведущих процессов.

Случайные отказы, возникающие в период производства строительного-монтажных работ, можно разделить на две группы с точки зрения возможности их устранения самой строительной организацией – устранимые и неустраиваемые. К первой группе относятся отказы, которые могут быть устранены в результате оперативно-производственных мер, принятых руководством строительной организации. Ко второй группе следует отнести случайные события, вызывающие отказы, которые не могут быть устранены или их устранение связано с неоправданно большими затратами. Это могут быть, например, отказы из-за плохих метеорологических условий,

из-за отключения электроснабжения района строительства, возникновение чрезвычайных ситуаций и т.п.

Удельный вес факторов второй группы и степень их влияния зависит от географического района размещения строительства (т.е. региона). Влияние факторов первой группы может быть устранено или значительно снижено проведением соответствующих организационно-технических мероприятий. К их числу можно отнести совершенствование системы материально-технического снабжения строительства, организация диспетчерского управления и связи, создание необходимых запасов материалов и изделий, внедрение прогрессивных технологий и форм организации труда, организация специализированных оперативных ремонтных бригад, осуществляющих контроль за исправной работой оборудования, машин, механизмов и инструментов и ряд других мероприятий.

Повышение уровня надёжности резервированием – это третье направление совершенствования организации и технологии строительных процессов.

Резервирование является наиболее действенным методом повышения безотказности системы и представляет собой включение избыточных дублирующих элементов, обеспечивающих работу строительного потока (или строительной организации в целом) при отказе основных элементов.

В технических системах и изделиях резервирование обеспечивает высокий уровень их надёжности.

Что касается сферы строительного производства, то здесь резервирование отличается целым рядом существенных особенностей. Так, полное дублирование строительной организации и даже конкретного строительного процесса практически невозможно и экономически нецелесообразно. Весьма трудно дублировать основные строительные машины, механизмы и особенно трудовые ресурсы, так как они ограничены определёнными лимитами, а часто их просто не хватает даже для нормального производства работ. Некоторые возможности резервирования имеются в ряде случаев в обеспечении материалами, техническими либо финансовыми ресурсами. Однако наиболее эффективным в строительстве является резервирование времени и фронта работ.

В технических системах в зависимости от схемы подключения резервирование делится на общее, групповое и поэлементное.

При общем резервировании для повышения надёжности дублируется вся система, при групповом – дублируется только группа элементов, обычно наименее надёжных, при поэлементном – дублируются все элементы, входящие в состав системы.

В зависимости от числа резервных элементов различают одно-, двух-, трёх- и многократное резервирование. Для расчёта надёжности обычно применяют логические структурные схемы элементов, в которых различают два основных вида соединения – последовательное и параллельное.

Последовательным соединением элементов называется такое, при котором выход из строя хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы. Последовательное соединение эквивалентно системе без резервных элементов и может быть представлено в виде цепочки элементов, включённых друг за другом.

Параллельное соединение – такое, при котором отказ наступает после выхода из строя всех параллельно включённых элементов. Процесс может проходить через любой из параллельных элементов и прерывается тогда, когда в работе не останется ни одного исправного элемента.

6.5. РЕГУЛИРОВАНИЕ УСИЛИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ОБЪЕКТАХ

Регулирование усилий и перемещений в элементах конструкций на различных стадиях их работы является одной из задач оптимального проектирования. Актуальность задач регулирования НДС конструкций в настоящее время возросла, так как большое число построенных зданий и сооружений подлежит реконструкции. От имеющихся средств регулирования и их свойств существенно зависит результат. Следовательно, важную роль играет изучение и сравнительная оценка эффективности тех или иных регуляторов.

Анализ исходной расчётной схемы конструкции и способов её регулирования представляет собой ответственную часть решения задачи. Прежде чем приступить к решению задачи регулирования, необходимо выяснить:

- какие виды деформаций возникают в элементах рассматриваемых конструкций (изгиб, растяжение или сжатие, сдвиг, кручение) на различных стадиях их существования;
- насколько равномерно или неравномерно распределяются усилия (напряжения) в поперечных сечениях разных элементов; есть ли элементы, в которых материал слабо напряжён, т.е. используется неэффективно;
- в каких элементах возникают максимальные усилия (напряжения);
- какие поперечные сечения являются опасными (расчётными при подборе сечения);
- какое НДС желательно создать в конструкции;
- каковы исходные данные задачи (нерегулируемые параметры);
- какие из параметров можно перевести в разряд регулируемых.

Анализ исходной задачи заканчивается постановкой задачи регулирования, которая заключается в выборе регулируемых параметров и критерия регулирования. При регулировании усилий обычно ставятся условия достижения равнопрочности (равного сопротивления) в нескольких наиболее напряжённых сечениях. В связи с этим постановка задачи регулирования требует глубокого понимания работы конструкции как для формирования желаемых условий, которым должна удовлетворять конструкция, так и для выбора варьируемых параметров. В качестве критериев регулирования могут быть приняты следующие: равенство усилий в опасных сечениях, уменьше-

ние величин некоторых факторов, например перемещений или усилий до требуемой величины и др. Для ответа на поставленные вопросы необходимо сделать расчёт конструкции. После этого проанализировать, какие сечения напряжены больше, какие недонапряжены и какое напряжённое состояние конструкции желательно, т.е. какое перераспределение усилий надо было бы сделать, какие при этом способы (средства) регулирования могут быть полезны.

При постановке задачи регулирования необходимо выбрать, что регулировать (на этот вопрос отвечает выбор критерия), и то, как регулировать (на этот вопрос отвечает выбор возможных регуляторов). Из набора возможных средств регулирования важно выделить наиболее эффективные. Следует отметить, что не каждое средство регулирования приводит к желаемому результату, т.е. задача может и не иметь решения при данном способе регулирования. Часто задачи регулирования решаются путём последовательного перебора регуляторов. Задача регулирования конструкции весьма сложна, и найти наиболее эффективный путь её решения в одном цикле удаётся не сразу, поэтому, проделав всю работу по решению задачи одного цикла, следует провести анализ как цели, так и средств регулирования и связанных с этим затрат. Затем для перехода к другому циклу необходимо уточнить цель задачи (выбор средств, способов регулирования, пределы изменения параметров), рассмотреть возможность регулирования с помощью других или нескольких взаимосвязанных параметров, т.е. перейти к новому, более совершенному циклу (новой постановке и решению) данной задачи. Диалектически поиск эффективного решения задачи регулирования рассматривается как процесс циклического, поэтапного развития конструкции.

Весьма чётко эта идея прослеживается в тех случаях, когда на конструкцию действует подвижная нагрузка или рассматривается динамическое нагружение. Приведём некоторые методические указания, которыми целесообразно руководствоваться при решении задач регулирования. Прежде всего, необходимо предварительно выявить общее число неизвестных, включая варьируемые параметры (параметры регулирования), затем – характер и количество условий для их определения.

В общем случае есть две группы условий, связанных между собой. К первой относятся условия, выражающие цель регулирования: какое напряжённо-деформированное состояние мы хотим создать. В большинстве случаев это условия выравнивания усилий и перемещений в опасных сечениях или уменьшения их значений до определённой величины. Они выражаются линейными или нелинейными алгебраическими уравнениями. В других случаях ограничения могут быть в виде неравенств, и тогда решение усложняется. Вторую группу составляют уравнения, раскрывающие статическую или кинематическую неопределимость расчётной схемы. Входящие в них лишние неизвестные связаны с параметрами первой группы. Для других систем это уравнения классических методов строительной механики (сил, перемещений или смешанного). Таким образом, задача сводится к решению системы алгеб-

раических уравнений, порядок которой равен суммарному числу параметров регулирования первой группы и «лишних» неизвестных второй группы. При регулировании перемещений или усилий статически определимых систем, очевидно, порядок системы равен числу параметров регулирования в первой группе. Некоторые из используемых критериев, например, условие равенства наибольшего по абсолютному значению усилий в указанных сечениях, могут приводить не к единственному решению.

Способы регулирования НДС конструкций делятся на пассивные и активные. Системы с активным регулированием имеют управляющие приспособления с обратной связью, под которой понимают специальное устройство, которое в зависимости от внешнего воздействия и напряжённо-деформированного состояния конструкции сообщает ей желаемое состояние. Здесь возникает вопрос об оптимальном управлении. Значительную роль играют задачи, в которых используется саморегулирование конструкций (приспособление, адаптация) при повторяющихся нагрузках за счёт резерва материала при переходе его в упругопластическое состояние. Способы регулирования НДС:

- изменением геометрической схемы сооружения;
- трансформацией внешних воздействий (использованием распределительных нагрузочных устройств);
- созданием усилий (перемещений), компенсирующих нежелательные усилия и перемещения (догружением);
- подбором соотношений жёсткостей элементов сооружения;
- предварительным напряжением отдельных элементов;
- смещением (осадкой) опор; выбором способов монтажа отдельных элементов конструкций, а также комбинацией перечисленных способов и другими приёмами.

Регулирование устойчивости упругих стержневых систем с центрально-сжатыми элементами выражается в уменьшении критической силы путём перераспределения сжимающих усилий в системе или выбора характеристик сжатых элементов, изменением геометрической схемы сооружения, длин и жёсткостей элементов, связей между ними и другими способами. Регулирование устойчивости упругих стержневых систем со сжато-изогнутыми элементами сводится к изменению усилий и перемещений с учётом влияния продольных сил на изгиб. Регулирование частот собственных колебаний – одна из основных задач динамики упругих стержневых систем. Она сводится к регулированию жёсткостей или изменению соответствующих перемещений упругой системы различными приёмами. В случае вынужденных колебаний возникает задача регулирования динамических усилий и перемещений. Её решение часто связано с устройством динамических гасителей колебаний и демпферов, изменением схемы передачи на сооружение динамических воздействий, выбором режима работы возбудителя динамических воздействий.

Наряду с приёмами регулирования при динамических воздействиях могут быть использованы и специальные, например, применение легко сбрасыва-

ваемых конструкций во взрывоопасных цехах или использование вспомогательных связей в конструкциях, разрушающихся в момент внезапного воздействия динамических нагрузок (таким образом смягчается передача внезапных нагрузок на основные конструкции). Иногда предусматриваются дополнительные связи, которые могут включаться в момент наиболее неблагоприятного для сооружения состояния (например, в момент, близкий к резонансу). Регулировать колебания можно также включением в отдельные элементы сооружения вставок из материала с более низкими модулями упругости, что смягчает передачу импульсов с одной части сооружения на другие. Примером этого может служить устройство горизонтальных швов в несущих конструкциях в сочетании с изоляционной системой из натуральной резины, применяемое в сейсмическом строительстве. Среди других способов регулирования можно отметить ряд приёмов виброгашения: постановку дополнительных стен и контрфорсов, устройство колонн, бандажей, специальных поглотителей энергии, аэродинамические способы. В задачах данного раздела цель регулирования ставится в виде уравнений (условий выравнивания).

Общее число неизвестных, как правило, равно числу совместно решаемых уравнений, отражающих цель регулирования и ограничения. Но так как часть коэффициентов этих уравнений является переменными, уравнения в общем случае нелинейные. Для их решения приходится исследовать графики или переходить к численному анализу.

Лекция 7

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

7.1. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ И ПРИНЦИПЫ МЕХАНИКИ

В механике изучаются движение и равновесие материальных тел. Под телами, вообще говоря, понимаются материальные образования различной природы и строения. Например, в качестве тела может выступать объём газа или жидкости, заключённый внутри некоторой воображаемой замкнутой поверхности. Выделенную систему материальных точек также можно рассматривать как тело. Телами являются нити, стержни, твёрдые деформируемые тела, абсолютно твёрдые тела и многое другое.

Одними из основных видов воздействия внешней среды на тела являются силы и моменты. Силой называют реакцию тела на изменение его положения, а моментом – реакцию тела на повороты вокруг оси. Необходимость введения моментов как самостоятельных сущностей была впервые осознана Л. Эйлером в 1771 г. Это означало принципиальную неполноту ньютоновой механики. К сожалению, стараниями Ж. Лагранжа фундаментальное открытие Л. Эйлера было предано забвению на более чем столетие. Независимые от сил моменты были вновь введены в механику только в начале XX века.

Две системы сил называются эквивалентными, если их главные векторы сил и главные моменты совпадают. Парой или, более точно, парой сил называют систему двух равных по величине сил, имеющих параллельные линии действия, но направленных в разные стороны.

Первый и второй законы статики гласят: если произвольное тело A находится в покое (в равновесии), то сила F и момент M , действующие на тело A , равны нулю.

Фундаментальным принципом классической физики, лежащим в основе буквально всех её понятий, является принцип инерции Галилея, заключающийся в следующем: всякая изолированная материальная точка движется в абсолютном пространстве прямолинейно и равномерно.

Фактически этот принцип даёт определение понятия прямолинейного и равномерного движения: движение изолированной частицы в абсолютном пространстве называется прямолинейным и равномерным. При этом не имеет значения как на самом деле движется изолированная частица в абсолютном пространстве. Важно только то, что это движение является для нас эталоном, посредством которого будут оцениваться все остальные движения. Обратим внимание на то, что в абсолютном пространстве нельзя ввести понятие прямой линии. В теле отсчёта понятие прямой линии уже определено. Поэтому из всех мыслимых тел отсчёта можно отобрать кандидатов на роль абсолютного пространства. А именно, необходимо ввести такие тела отсчёта, в которых движение изолированной частицы будет прямолинейным.

Первым фундаментальным законом механики принято называть уравнение баланса количества движения. Первоначально он возник как первый закон статики и применялся ещё Архимедом. Применительно к задачам динамики этот закон в частных формулировках применялся Галилеем и Гюйгенсом. Знаменитым первый фундаментальный закон стал после выхода «Математических начал натуральной философии» (1686) Исаака Ньютона. В науке он утвердился под названием Второго закона Ньютона.

Согласно основной аксиоме механики, в инерциальной системе отсчёта количество движения изолированного тела сохраняется неизменным. Если тело является материальной точкой, то это утверждение вытекает из Принципа инерции Галилея и позволяет ввести в рассмотрение инерциальные системы отсчёта. Для произвольного тела основная аксиома уже не вытекает из Принципа инерции Галилея и является новым постулатом. Наблюдение показывает, что, как правило, количество движения тела A меняется.

Следует при этом иметь в виду, что под телами механика понимает не только тела типа твёрдых, жидких и газообразных тел. Электромагнитное поле и многие другие тонкие состояния материи также являются телами. Первый фундаментальный закон фиксирует связь между воздействиями (другими телами) и изменением количества движения рассматриваемого тела. При этом первый фундаментальный закон устанавливает баланс между изменением количества движения тела A и силой, действующей на тело A .

Важнейшей особенностью фундаментальных законов механики, включая первый закон динамики, является то, что они принципиально не могут быть ни подтверждены, ни опровергнуты экспериментальными методами. В первый закон входит вектор силы, который не поддаётся прямому экспериментальному определению, хотя, разумеется, существует много косвенных методов измерения силы.

Второй фундаментальный закон механики – это уравнение баланса кинетического момента или второй закон динамики Эйлера. Заключается он в следующем: скорость изменения кинетического момента тела A , вычисленного относительно опорной точки Q , равна моменту M^Q плюс скорость подвода кинетического момента $k^{\mathcal{L}_2}$ в тело A . В рациональной механике второй закон динамики, обычно применяемый под названием теоремы об изменении кинетического момента, находит очень широкое приложение.

Третьим фундаментальным законом механики называют уравнение баланса энергии. Уравнение баланса энергии или третий фундаментальный закон рациональной механики используется в механике около двухсот лет. В физике этот закон известен под названием закона сохранения энергии, открытие которого связывают с именами Р. Майера (1845) и Г. Гельмгольца (1847).

Значение понятия энергии определяется тем, что энергия является Великим Интегратором всех процессов, протекающих в физических системах. Многообразие этих процессов и является главной причиной того, что для энергии трудно дать окончательное определение. Замечательно, однако, то, что и без окончательных определений энергия оказывается чрезвычайно полезным и даже необходимым элементом физических теорий.

Третий фундаментальный закон механики можно сформулировать следующим образом: скорость изменения полной энергии тела A равна мощности N внешних воздействий на тело A плюс скорость подвода энергии δ в тело A от внешних источников.

Одним из основных принципов механики является принцип Лагранжа, согласно которому, если к заданным (активным) силам, действующим на точки механической системы, присоединить силы инерции, то при движении механической системы с идеальными связями в каждый момент времени сумма элементарных работ активных сил и элементарных работ сил инерции на любом возможном (виртуальном) перемещении системы равна нулю.

7.2. НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И СИСТЕМ

Напряжённо-деформированное состояние (НДС) – это совокупность напряжений и деформаций, возникающих в здании от действия на него внешних нагрузок. Нагрузки бывают разного рода: постоянные (собственный вес конструкций), временные (эксплуатационная нагрузка от располагаемого оборудования, скопления людей и т.д.), кратковременные (ветровая, снеговая) и особые виды нагрузок (ударная нагрузка, сейсмическая, падение самолёта (требуется учитывать при проектировании атомных ЭС)). Зачастую при техническом обследовании зданий и сооружений возникает необходимость в исследовании и анализе напряжённо-деформированного состояния конструкций и здания (сооружения) в целом.

Существует три стадии напряжённо-деформированного состояния железобетонных конструкций. Первая – стадия упругой работы, когда при малых нагрузках на элемент напряжения в бетоне и арматуре невелики, деформации носят преимущественно упругий характер; зависимость между напряжениями и деформациями линейная и эпюры нормальных напряжений в бетоне сжатой и растянутой зон сечения треугольные. С увеличением нагрузки на элемент в бетоне растянутой зоны развиваются неупругие деформации, эпюра напряжений становится криволинейной, напряжения приближаются к пределу прочности при растяжении. Этим характеризуется конец стадии I. При дальнейшем увеличении нагрузки в бетоне растянутой зоны образуются трещины, наступает новое качественное состояние.

При наступлении второй стадии НДС в том месте растянутой зоны, где образовались трещины, растягивающее усилие воспринимается арматурой и участком бетона растянутой зоны над трещиной. В интервалах растянутой зоны между трещинами сцепление арматуры с бетоном сохраняется, и по мере удаления от краёв трещин растягивающие напряжения в бетоне увеличиваются, а в арматуре – уменьшаются. С дальнейшим увеличением нагрузки на элемент в бетоне сжатой зоны развиваются неупругие деформации, эпюра нормальных напряжений искривляется, а ордината максимального напряжения перемещается с края сечения в его глубину. Конец стадии II характеризуется началом заметных неупругих деформаций в арматуре.

После второй стадии наступает стадия III, или стадия разрушения. С дальнейшим увеличением нагрузки напряжения в стержневой арматуре достигают физического или условного предела текучести; напряжения в бетоне сжатой зоны под влиянием нарастающего прогиба элемента и сокращения высоты сжатой зоны также достигают временного сопротивления сжатию. Разрушение железобетонного элемента начинается по арматуре растянутой зоны и заканчивается раздроблением бетона сжатой зоны. Такое разрушение носит пластический характер, его называют случаем 1. Если элемент в растянутой зоне армирован высокопрочной проволокой с малым относительным удлинением при разрыве (~4%), то одновременно с разрывом проволоки происходит и раздробление бетона сжатой зоны, разрушение носит хрупкий характер, его также относят к случаю 1.

В элементах с избыточным содержанием растянутой арматуры – перearмированных – разрушение происходит по бетону сжатой зоны, переход из стадии II в стадию III происходит внезапно. Разрушение перearмированных сечений всегда носит хрупкий характер при неполном использовании растянутой арматуры; его называют случаем 2.

Ненапрягаемая арматура сжатой зоны сечения в стадии III испытывает сжимающие напряжения, обусловленные предельной сжимаемостью бетона.

Сечения по длине железобетонного элемента испытывают разные стадии напряжённо-деформированного состояния; так, в зонах с небольшими изгибающими моментами – стадия I, по мере возрастания изгибающих моментов – стадия II, в зоне с максимальным изгибающим моментом – стадия III. Разные стадии напряжённо-деформированного состояния железобетонного элемента могут возникать и на различных этапах – при изготовлении и предварительном обжатии, транспортировании и монтаже, действии эксплуатационной нагрузки. При обжатии в предварительно напряжённом элементе возникают довольно высокие напряжения. Под влиянием развития неупругих деформаций эпюра сжимающих напряжений приобретает криволинейное очертание. В процессе последовательного загрузения внешней нагрузкой предварительные сжимающие напряжения погашаются, а возникающие растягивающие напряжения приближаются к временному сопротивлению бетона растяжению. Особенность напряжённо-деформированного состояния предварительно напряжённых элементов проявляется главным образом в стадии I. Внешняя нагрузка, вызывающая образование трещин, значительно увеличивается (в несколько раз), напряжение в бетоне сжатой зоны и высота этой зоны также значительно возрастают. Интервал между стадиями I и III сокращается. После образования трещин в стадиях II и III напряжённые состояния элементов с предварительным напряжением и без него сходны.

Диаграмму НДС бетона при воздействии внешних нагрузок применяют двухлинейной или трёхлинейной, кусочно-линейной, криволинейной. Нелинейные деформации характеризует криволинейная диаграмма состояния бетона, состоящая из восходящей и нисходящей ветвей (рис. 7.1).

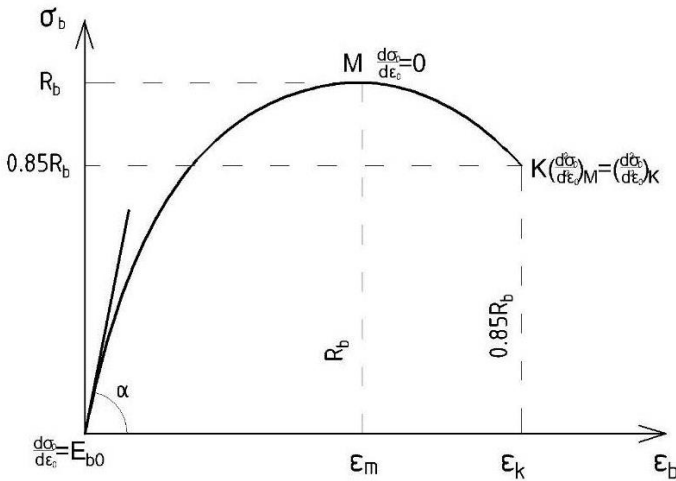


Рис. 7.1. Нормируемые показатели диаграммы сжатия бетона (зависимость «напряжения-деформации»)

В практике хорошо используют степенные зависимости, например Бульфингера, П. А. Лукаша, А. Хоффа, В. Н. Байкова, В. С. Горбатова, З. А. Димитрова и др.

Так, по мнению Н. М. Сняtkова, наиболее приемлемой является зависимость

$$\sigma_c = A_0 E_B + B_0 E_B^2 + C_0 E_B^3 + D_0 E_B^4 + F_0 E_B^5.$$

Коэффициенты определяются из условий:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= R_0 \text{ при } E_B = E_m; \\ d\sigma_c/dE_B &= E_B \text{ при } E_B = 0; \\ d\sigma_c/dE_B &= 0 \text{ при } E_B = E_m; \\ \sigma_c &= 0,85R_B \text{ при } E_B = E_k; \\ d^2\sigma_B/dE_B^2 &= d^2\sigma_B/dE_B^2 \text{ при } E_B = E_k. \end{aligned}$$

Приведём некоторые зависимости:

$$\begin{aligned} f_{ck}(t) &= f_{ct}(t) - 8, \text{ МПа для } t < 28 \text{ сут}; \\ f_{ck}(t) &= f_{ck} \geq 28 \text{ сут}; \\ f_{ct}(t) &= \beta_{cc}(t) f_{ct}; \\ E_{ct}(t) &= (f_{ct}(t)/f_{ct})^{0,3} E_{ct}; \\ \frac{\sigma_c}{f_{ct}} &= \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta}; \\ \eta &= \varepsilon_c/\varepsilon_{c1}; k = 1,05 E_{ct} |\varepsilon|/f_{ct}; \\ f_{cd} &= a_{cc} f_{ck}/\gamma_c. \end{aligned}$$

Здесь обозначения:

f_{ck} – нормативное сопротивление;
 $f_{ct}(t)$ – прочность бетона в возрасте (t);

$f_{ct}(t)$ – среднее значение прочности бетона на сжатие в возрасте t сут;
 f_{ct} – среднее значение прочности бетона на сжатие в возрасте 28 сут;
 $\beta_{cc}(t)$ – коэффициент, зависящий от возраста бетона;
 $E_{ct}(t)$, $f_{ct}(t)$ – значения модуля и сопротивления бетона сжатию в момент времени t , E_{ct} и f_{ct} – то же в возрасте 28 сут;
 ϵ_c – деформация сжатия в бетоне;
 ϵ_{c1} – деформация сжатия в бетоне при максимальном напряжении f_c ;
 γ_c – коэффициент надёжности по бетону;
 $a_{cc} = 1$ – коэффициент, зависящий от влияния длительных процессов в сжатом бетоне и благоприятных факторов от характера приложения нагрузки.

При стеснении деформаций увеличивается прочность и величина предельных деформаций. Стеснение может возникнуть в результате действия связей и поперечных стержней, вызывающих пластические состояния при постоянном нагружении бетона.

Основные свойства арматуры:

- предел текучести (f_{yk} и f_{02k});
- максимум действительного предела текучести $\xi(f_{r,max})$;
- прочность на растяжение f_t ;
- деформации (E_{uk} и f_t/f_{uk});
- загиб;
- характеристики стыков f_R ;
- размеры сечения и допуски;
- свариваемость;
- сопротивление срезу и прочность сварки.

Требования долговечности включают:

- конструктивность решения;
- выбор материала;
- конструктивные детали;
- производство работ;
- контроль качества;
- инспекция;
- проверка соответствия.

7.3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИИ

На надёжность и долговечность зданий и сооружений влияет множество факторов, которые заключаются в различного вида воздействиях. Здания и сооружения испытывают как постоянные, так и временные и кратковре-

менные нагрузки. Воздействия на здания можно разделить на внешние, внутренние, а также отдельно воздействия на фундаменты.

К внешним относятся такие виды воздействий, как: радиация, температура, ветровое давление, атмосферные осадки, газы, химические вещества, грозовые разряды, радио- и электромагнитные волны, звуковые колебания, биологические факторы.

К внутренним нагрузкам относятся: колебание температуры и влажности воздуха, технологические нагрузки (динамические, вызывающие истирание), наличие биологических вредителей.

Фундаменты, помимо прочих, воспринимают особые нагрузки: воздействие грунтов основания, грунтовых вод, блуждающих токов, морозного пучения, вибрационные воздействия от транспорта, а также повреждения от усадки. Деформации усадки бетона происходят в атмосферных условиях при недостаточной влажностной, контракционной и карбонизационной деформации. Влажностная составляющая играет ведущую роль в суммарной усадке. Она вызывается изменением, перемещением и испарением влаги в цементном камне. Контракционная усадка возникает вследствие того, что объём новообразований цементного камня меньше объёма, занимаемого веществами, вступившими в реакцию. При этом уменьшается объём пор, занимаемых водой, возникают воздушные поры. Карбонизационная усадка вызывается карбонизацией гидрата окиси кальция.

К особым видам нагрузок можно отнести и сейсмические.

При расчёте бетонных и железобетонных конструкций необходимо учитывать изменения механических и упругопластических свойств бетона и арматуры в зависимости от температурных воздействий. При этом усилия, деформации, образование, раскрытие и закрытие трещин определяют от воздействия нагрузки (включая собственный вес) и температуры.

Расчётные схемы и основные предпосылки для расчёта бетонных и железобетонных конструкций должны устанавливаться в соответствии с условиями их действительной работы в предельном состоянии с учётом в необходимых случаях пластических свойств бетона и арматуры, наличия трещин в растянутом бетоне, а также влияния усадки и ползучести бетона как при нормальной температуре, так и при воздействии повышенных и высоких температур.

Расчёт конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, должен производиться на все возможные неблагоприятные сочетания нагрузок от собственного веса, внешней нагрузки и температуры с учётом длительности их действия и в случае необходимости – остывания.

Расчёт конструкций с учётом воздействия повышенных и высоких температур необходимо производить для следующих основных расчётных стадий работы:

- кратковременный нагрев – первый разогрев конструкции до расчётной температуры;

- длительный нагрев – воздействие расчётной температуры в период эксплуатации.

Расчёт статически определимых конструкций по предельным состояниям первой и второй групп (за исключением расчёта по образованию трещин) следует вести только для стадий длительного нагрева. Расчёт по образованию трещин необходимо производить для стадий кратковременного и длительного нагрева с учётом усилий, возникающих от нелинейного распределения температуры бетона по высоте сечения элемента.

Расчёт статически неопределимых конструкций и их элементов по предельным состояниям первой и второй групп должен производиться:

а) на кратковременный нагрев конструкции, когда возникают наибольшие усилия от воздействия температуры.

При этом жёсткость элементов в конструкции определяется как от кратковременного действия всех нагрузок и в зависимости от скорости нагрева;

б) на длительный нагрев – воздействие на конструкцию расчётной температуры в период эксплуатации, когда происходит снижение прочности и жёсткости элементов в результате воздействия длительного нагрева и нагрузки.

При этом жёсткость элементов определяется как от длительного воздействия всех нагрузок.

7.4. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПОДХОДЫ

Детерминизм как представление о взаимосвязи всех явлений и процессов является важнейшей составной частью научной методологии, нацеливающей исследователей на выявление причинности и закономерностей в природе, обществе и мышлении.

На принципе детерминизма построена классическая физика. Она изначально была основана на представлении о мире как о гигантской машине, в которой все процессы совершаются закономерно и случайность исключена (механицизм).

К детерминированным методам относятся методы исследования, в которых зависимость между рассматриваемыми признаками строго задана или детерминирована (от лат. *determinare* – определять), поэтому исследование приводит к однозначным выводам. Причём именно жёсткость, безапелляционность отношений и выводов является отличительной чертой детерминированных методов.

Суть вероятностных методов вытекает из самого названия. В теории вероятностей вероятность – это количественная мера, степень возможности появления некоторого события. Данный метод, таким образом, позволяет предположить истинность выводов и возможность существования признаков или их отношений.

Начиная с XIX века стали разрабатываться статистические теории, которые основывались на идеях и методах теории вероятности. Первыми матери-

альными системами, исследуемыми в рамках статистических теорий, были газы. Движения элементов (молекул газа) в таких системах относительно независимы и равноправны. Хаотические состояния таких систем – это идеальное воплощение случайности.

Появившаяся в первой половине XX века квантовая механика считается принципиально недетерминистической теорией. Например, согласно квантовой механике, наиболее полного из всех возможных описаний атома радия недостаточно, чтобы определить, когда именно данный атом распадётся. Известна лишь вероятность того, что распад (или некоторое количество распадов) случится в течение заданного периода времени.

Существует мнение, что принцип неопределённости в версии Эйнштейна сыграл очень полезную роль, поскольку он показывал, что в мире фундаментальных частиц закон сохранения энергии мог нарушаться. С его помощью также удалось объяснить некоторые необычные явления в мире субатомных частиц, исходя из того, что в условиях нарушения закона сохранения возможно появление из ничего частиц, которые исчезают ещё до того, как их удаётся зафиксировать, и которые поэтому называют виртуальными частицы.

Принцип неопределённости сильно повлиял на развитие современной физики. Он напрямую связан с философской проблемой причинности (т.е. причинно-следственной связи). Однако в науке судьба этой идеи оказалась иной, чем предполагали. Нередко можно прочесть, что принцип неопределённости показывает принципиальную невозможность получить точные научные ответы на то, что в действительности происходит в окружающем мире, и что все человеческие знания получены лишь благодаря совпадениям, когда следствие не определяется причиной.

7.5. МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Разрушение представляет собой чрезвычайно сложный, многостадийный процесс, управляемый большим количеством факторов. В зависимости от изменяющихся условий можно получить весьма различные характеристики процесса разрушения. О сложности и неоднозначности явления свидетельствует тот факт, что нет общепринятого определения разрушения и общепринятой классификации видов разрушения.

В общем случае механическое разрушение может быть определено как любое изменение размера, формы или свойств материала конструкции, в результате которого она утрачивает способность удовлетворительно выполнять свои функции. Основываясь на этом, вид разрушения можно определить как физический процесс или несколько взаимосвязанных между собой процессов, приводящих к разрушению.

По виду диаграмм тела рассматривают как идеально упругие, нелинейно упругие, упругопластические с упрочнением или разупрочнением, идеально упругопластические.

Характерными диаграммами работы стали под нагрузкой, зависящими от степени развития пластических деформаций, являются следующие (рис. 7.2).

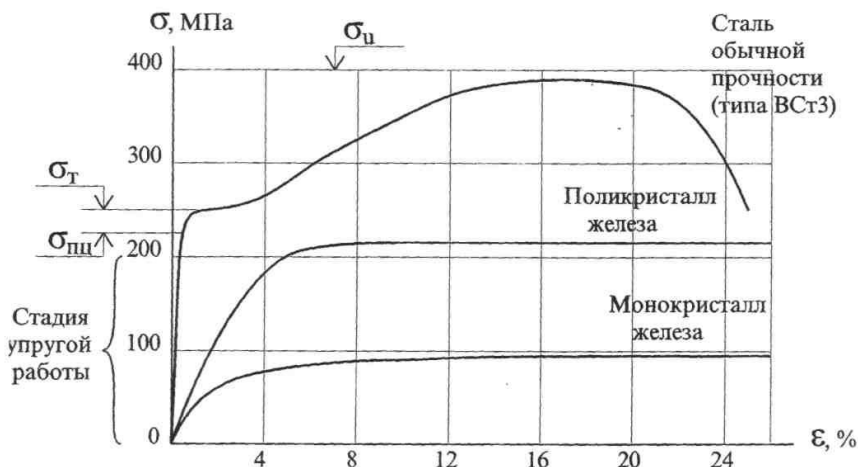


Рис. 7.2. Диаграммы растяжения стали

Хрупкому разрушению способствуют: наличие крупного зерна, повышенное содержание вредных примесей (фосфор, сера, азот, кислород, водород и др.), старение, низкая температура эксплуатации, концентрация напряжений, динамический характер воздействия и др.

Различают усталости: силовую, деформационную, коррозионную, тепловую. В опытах определяют предел выносливости σ_R , наибольшее значение максимального по абсолютной величине напряжения цикла, при действии которого не происходит усталостного разрушения после неограниченного большого количества циклов. Предел выносливости при симметричном цикле обозначают σ_1 . При испытании с постоянным средним значением напряжения σ_m предел выносливости – наибольшее значение амплитуды напряжений цикла, при действии которой образцы имеют неограниченно большую долговечность. Усталостью при циклическом напряжении называют процесс постепенного накопления повреждений материала под действием повторных напряжений, приводящих к образованию трещин и разрушению. Снижение прочности стальных конструкций при циклическом воздействии растягивающих и сжимающих сил выявил Понселе (1839). В 1858 году Веллер разработал метод определения предела выносливости. Обозначения показаны на рис. 7.3, 7.4:

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_a + f(t); \sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a; \sigma_{\min} = \sigma_m + \sigma_c;$$

$$\frac{(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})}{2} = \sigma_a; R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}},$$

где R – коэффициент асимметрии цикла; σ_m – среднее напряжение цикла; σ_a – амплитуда цикла; t – продолжение цикла.

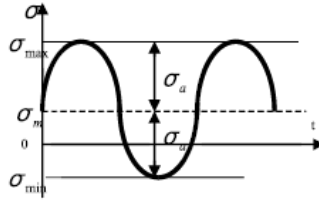


Рис. 7.3. Цикл напряжений

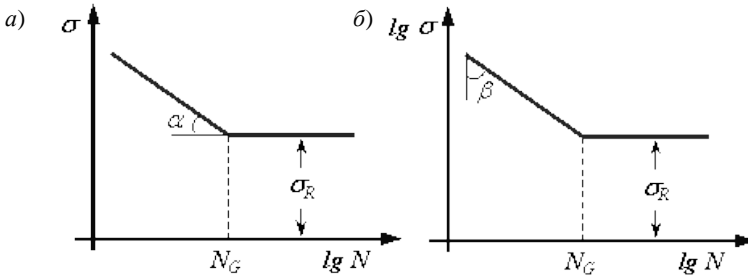


Рис. 7.4. Кривые Веллера (диаграмма усталости для материалов, имеющих (а) и не имеющих (б) физического предела выносливости)

Испытания проводят по одной из схем: $R = \text{const}$; $\sigma_{\max} \neq \text{const}$; $\sigma_m = \text{const}$.

Закон суммирования повреждений. Полагают накопление усталостных повреждений в материале, испытываемом при разных амплитудах напряжения. Обычно используют гипотезу Пальмгрена–Майнера о линейном характере накопления усталостного повреждения. Степень повреждения материала на каждом уровне напряжения σ_i пропорциональна отношению числа циклов нагружения при этом уровне n_i к полной долговечности при этом же напряжении N_i :

$$\sum_{i=1}^m (n_i/N_i) = 1.$$

При таком подходе необходимо заранее знать долговечность материала при разных напряжениях. В процессе циклического нагружения происходят необратимые структурные изменения. Установлено, что процесс усталости связан с развитием пластической деформации, подготавливающей зарождение субмикротрещин. Последние постепенно разрастаются, превращаясь в микро- и макротрещины. Различают циклически упрочняющиеся, разупрочняющиеся или циклически стабильные материалы. Долговечность материала связывают с размахом пластической деформации за цикл (Д. Ф. Коффин, 1963) $\Delta \epsilon_p$:

$$N_p^{1/2} \Delta \varepsilon_p = c,$$

где N_p – число циклов до разрушения; $\Delta \varepsilon_p$ – ширина петли пластического гистерезиса.

Усталостная трещина, возникшая при циклическом нагружении, будет расти при дальнейшем циклическом нагружении, пока не достигнет критического размера, а затем происходит быстрое распространение до катастрофического разрушения.

Скорость роста усталостной трещины можно вычислить по формуле Париса и Эрдогана

$$\frac{da}{dN} = f(\Delta \sigma, a, c),$$

где $\Delta \sigma$ – размах номинального неизменного напряжения; a – длина трещины; c – параметр, зависящий от среднего значения нагрузки, свойств материала и некоторых переменных.

Из этой формулы следует, что рост усталостной трещины зависит от размаха циклического напряжения и длины трещины.

Отмечено, что после кратковременных действий высоких напряжений распространение трещины может замедляться, т.е. повреждённость при усталости зависит от предыстории циклического нагружения. После снятия повышенной нагрузки в пластической зоне появляются остаточные сжимающие напряжения. При последующем приложении нагрузки происходит торможение роста трещины.

Процесс усталостного разрушения состоит из трёх фаз: возникновение трещины, распространение её до критического размера и при достижении критического размера – быстрого неустойчивого роста трещины до полного разрушения.

Основными причинами внезапного разрушения эксплуатируемых сварных соединений без видимых предварительных деформаций являются (А. М. Болдырев):

- крупнозернистая структура металла шва и укрупнение зерна в околошовной зоне;
- остаточные сварочные напряжения;
- дефекты в виде пор, микротрещин, неметаллических включений.

Трещины в железобетонных конструкциях разделяют по причинам образования; виду нагрузки, направлению, очертанию, глубине, степени опасности; характеру развития; величине раскрытия (волосьяные до 1 мм, мелкие 1...3 мм, развитые 3...5 мм, большие 5...10 мм, аварийные > 10 мм).

Используют следующие способы заделки трещин: инъектирование, цементация, силикатизация, смолизация, битумизация, торкретирование (сухое и мокрое).

Материалами для заделки трещин могут быть: твердеющие растворы, мелкозернистый бетон, сухая смесь, полимерные смолы, пенополиуретан, разогретый битум, герметики. Также используются фибры: стальная, полипропиленовая, стекловолоконная, полиамидная, базальтовая, базальтопластиковая.

Лекция 8 ОБОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

8.1. ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИ В МЕХАНИКЕ

Как отмечал Б. А. Гарагаш, многообразие конструктивных решений зданий и сооружений определяет и многообразие расчётных моделей. Среди основных моделей механики встречаются как линейные и плоские системы, так и пространственные системы. Типы расчётных моделей здания представлены на рис. 8.1.

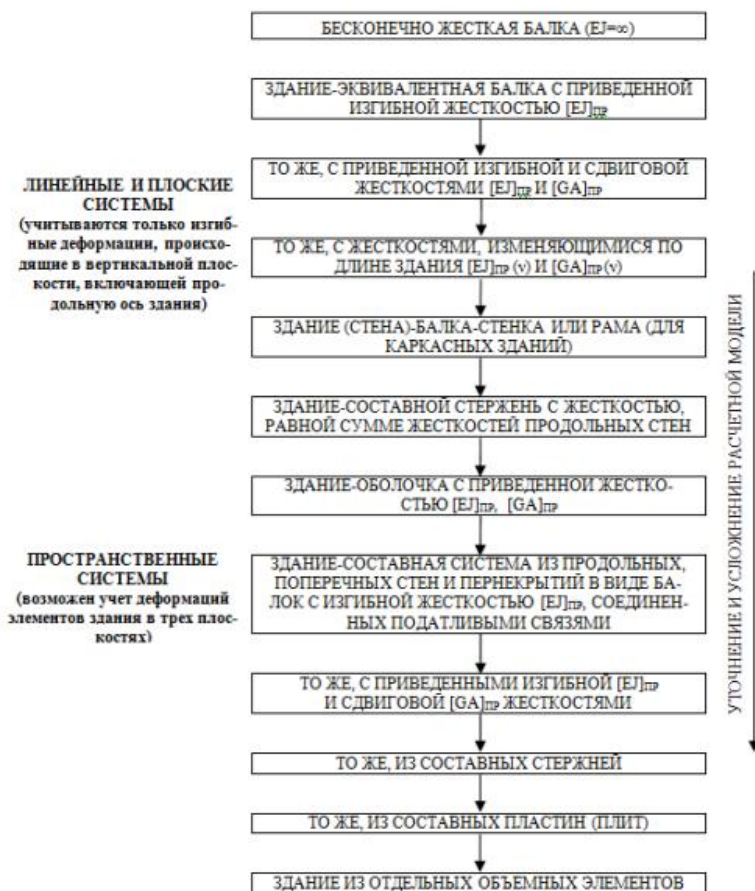


Рис. 8.1. Типы расчётных моделей зданий

В качестве примера решения дифференциальных уравнений балки на упругом основании вариационными или численными методами рассмотрим расчёт крупнопанельных зданий на неоднородных основаниях. Деление на модели происходит по следующим конструкциям:

а) Продольные стены:

- балки с изгибной жёсткостью (EJ);
- балки-стенки с изгибной (EJ) и сдвиговой (GA) жёсткостями;
- составные продольные стены;
- многоэтажные многопролётные рамы;
- многоэтажные многопролётные составные конструкции;

б) Поперечные стены (диафрагмы):

- абсолютно жёсткие балки;
- рамы;
- балки с изгибной жёсткостью (EJ);
- балки с изгибной (EJ) и сдвиговой (GA) жёсткостями;
- составные конструкции;
- пластины;

в) Перекрытия:

- балки с изгибной жёсткостью (EJ);
- балки с изгибной (EJ) и сдвиговой (GA) жёсткостями;
- составные продольные конструкции;
- составные поперечные конструкции;
- пластины.

При расчёте исходим из следующих предпосылок:

- 1) плоские элементы здания работают только в своей плоскости;
- 2) кручение здания учитывается через взаимодействие системы поперечных стен и перекрытий;
- 3) кручение плоских элементов относительно собственных продольных осей не учитывается;
- 4) влиянием грунта под поперечными стенами пренебрегают.

Построение физической модели заключается во введении некоторых допущений относительно свойств материалов, внешних воздействий, характера взаимодействия конструкций с нагрузками и т.п.

Под построением математической модели объекта понимается совокупность математических соотношений, оценивающих поведение соответствующей физической модели.

Часто одна и та же математическая модель соответствует нескольким физическим, и одна и та же физическая модель может иметь несколько разных математических. Наиболее строгая математическая модель – модель, в которой используются самые общие математические зависимости и уравнения и которая не имеет дополнительных ограничений.

Этапы математического моделирования (С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин):

- исходные (определение конечных элементов, отбор показателей, разделение их на входные и выходные);
- формирование априорной информации (постулирование, математическая формализация);
- собственно моделирование – устанавливает общий вид модели (структуру, аналитическую и символьную записи);
- статический анализ модели – оценка неизвестных параметров, входящих в аналитическую запись модели, исследование свойств статистических оценок;
- анализ адекватности модели – применение различных процедур, сопоставление выводов, оценок, следствий;
- уточнение модели, развитие и углубление информации.

Целью расчётов многоэтажных и высотных железобетонных зданий является:

- определение усилий в элементах конструктивной системы (колоннах, плитах перекрытий и покрытий, фундаментах, стенах, ядрах жёсткости), напряжений в основаниях;

- расчёт сопротивляемости конструктивной системы прогрессирующему обрушению;

- оценка несущей способности и деформаций основания.

К числу рекомендуемых расчётов относят:

- учёт взаимодействия всех конструктивных элементов здания;
- расчёт на динамические воздействия;
- учёт пространственного характера здания в процессе взаимодействия с внешними нагрузками.

Основным методом расчёта строительных конструкций является метод конечных элементов (МКЭ). Основная концепция метода – дискретизация (разбивка) рассчитываемой системы на отдельные конечные элементы, объединённые общими узлами. Для дискретной модели основой является система кусочно-непрерывных функций, определённых на области узлов рассчитываемой системы.

Расчётный метод включает учёт:

- совместного деформирования сложных систем, состоящих, например, из колонн, балок, плит и т.п.;
- сложной структуры конструктивных элементов (различные физико-механические характеристики, наличие отверстий, изменение сечений, закрепления (опоры) различного типа);
- вида и схемы загрузки;
- особенностей узлов соединения конструктивных элементов (наличие абсолютно жёстких участков конечных элементов (КЭ), выравнивание КЭ по плоскости, по грани, по положению КЭ в общей системе).

При расчёте пластин (плиты, оболочки) решают следующие типы задач теории упругости:

- анализ плоского напряжённого состояния;
- анализ плоской деформации;
- изгиб тонких пластин;
- изгиб пластин по теории Рейсснера–Миндлина;
- расчёт пологих оболочек.

8.2. ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ НА НДС КОНСТРУКЦИИ

На напряжённо-деформированное состояние материалов и конструкций влияют:

- условность узловых соединений;
- структурные изменения металла;
- начальные напряжения;
- технология и очередность работ;
- дефекты, повреждения;
- проектная долговечность;
- своевременное и качественное проведение ремонтно-восстановительных работ.

Уравнения текучести (предельного напряжённого состояния) жёстко-пластических тел представлены следующими условиями:

1. Условие Губера–Мизеса

Графическое изображение данного условия представлено на рис. 8.2.

Прочностная характеристика – предел текучести (σ_y). Уравнение текучести имеет следующий вид :

$$\sqrt{I_2} = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}.$$

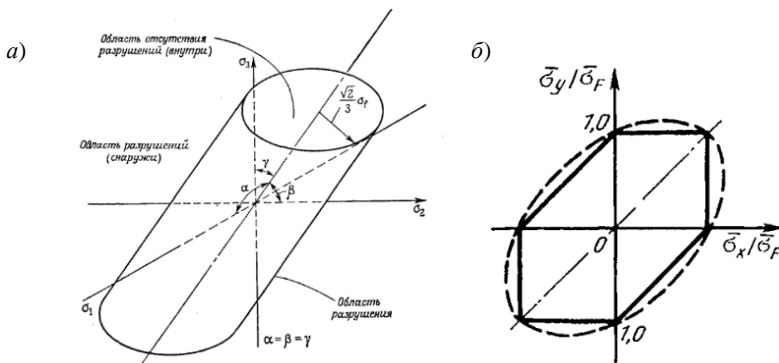


Рис. 8.2. Графическое изображение условия Губера–Мизеса:

а – пространственное напряжённое состояние;

б – плоское напряжённое состояние

Для пространственного напряжённого состояния при $\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 \neq 0$

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]} = \sigma_y.$$

Для плоского напряжённого состояния при $\sigma_1 \neq 0, \sigma_2 \neq 0, \sigma_3 = 0$

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} = \sigma_y.$$

2. Условие Сен-Венана–Треска

Графическое изображение данного условия представлено на рис. 8.3.

Прочностная характеристика – предел текучести (σ_y).

Для пространственного напряжённого состояния:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \pm \sigma_y,$$

$$\sigma_2 - \sigma_3 = \pm \sigma_y,$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm \sigma_y.$$

Для плоского напряжённого состояния:

$$\sigma_1 = \pm \sigma_y,$$

$$\sigma_2 = \pm \sigma_y,$$

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm \sigma_y.$$

3. Условие Мизеса–Шлейхера–Боткина

Графическое изображение данного условия представлено на рис. 8.4.

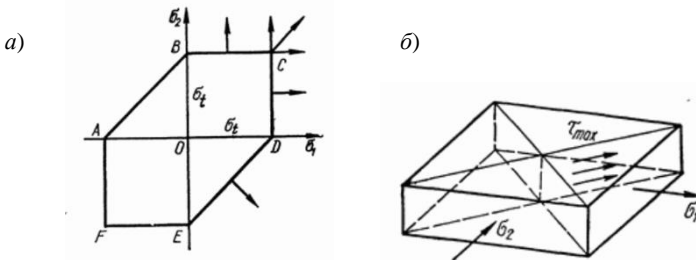


Рис. 8.3. Графическое изображение условия Сен-Венана–Треска:

a – пространственное напряжённое состояние; *b* – плоское напряжённое состояние

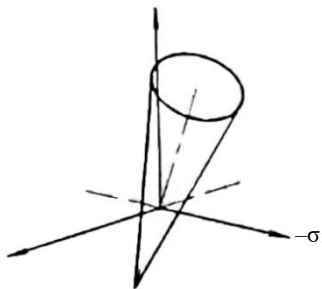


Рис. 8.4. Графическое изображение условия Мизеса–Шлейхера–Боткина

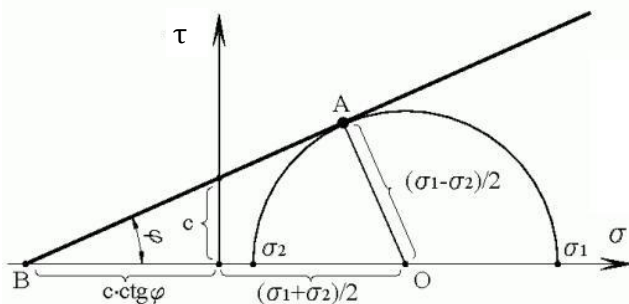


Рис. 8.5. Графическое изображение условия Мора–Кулона

Прочностные характеристики – удельное сцепление (c) и угол внутреннего трения (φ). Напряжённое состояние пространственное. Уравнение текущей прочности принимает вид:

$$I_2^{0,5} + \alpha I_1 - K = 0,$$

$$I_1 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3,$$

$$I_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2],$$

$$\alpha = \sin\varphi / [3(3 - \sin^2\varphi)]^{0,5} \approx \sin\varphi/3,$$

$$K = c(1 - 12\alpha^2)^{0,5} \approx c\cos\varphi,$$

4. Условие Мора–Кулона

Графическое изображение данного условия представлено на рис. 8.5.

Прочностные характеристики – удельное сцепление (c) и угол внутреннего трения (φ). Напряжённое состояние плоское. Уравнение текущей прочности имеет вид

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{2} + \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \sin\varphi - c\cos\varphi = 0.$$

8.3. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Реология – наука, устанавливающая общие законы образования и развития во времени деформаций любого вещества от различных причин в различных термодинамических и физико-химических условиях.

Для прогноза деформации неустановившейся затухающей ползучести применяют линейную (в отношении напряжений) теорию наследственной ползучести Больцмана–Вольтера.

Уравнение состояния при однократном нагружении имеет вид

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + k(t - t_0)\sigma(t_0)\Delta t_0,$$

где $\varepsilon(t)$ – изменение относительной деформации во времени; $\sigma(t)/E$ – мгновенная деформация в момент времени t при модуле E ; $k(t - t_0)\sigma(t_0)\Delta t_0$ – ядро ползучести.

При непрерывном нагружении

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma(t)}{E} \int_0^t k(t-t_0)\sigma(t_0)\Delta t_0.$$

Ядро ползучести – скорость ползучести при постоянном напряжении, отнесённая к единице действующего давления.

Для глинистых грунтов

$$k(t-t_0) = \delta e^{-\delta'(t-t_0)},$$

где δ и δ' – параметры ползучести, определяемые опытным путём.

Уравнение Бингама–Шведова имеет вид

$$\frac{1}{r} \varepsilon_{yz} = \tau - \tau_0,$$

откуда

$$\tau = \tau_0 + v \frac{d\varepsilon}{dt},$$

где $v = 1/\eta$ – коэффициент вязкости; τ_0 – начальное ($\varepsilon_{yz} = 0$) сдвиговое напряжение.

Месчан С. Р. предложил модели формоизменения глинистых грунтов при сдвиге под действием уплотняющего давления. Эксперименты подтвердили положения Маслова–Арутюняна, теории наследственной ползучести стареющих материалов.

Уравнение ползучести принято в виде

$$\gamma_t = \omega(t, \sigma_z) f(\tau, \sigma_z, t),$$

где $\omega(t, \sigma_z)$ – мера сдвиговой ползучести; $f(\tau, \sigma_z, t)$ – функция касательного напряжения, зависящая от σ_z ; $f(\tau, \sigma_z, t) = \alpha(\sigma_z, t)\tau + \beta(\sigma_z, t)\tau n(\sigma_z)$; n – показатель нелинейности деформации сдвиговой ползучести.

Уравнение ползучести при простом сдвиге для любого его состояния получено в виде (закон ползучести при простом сдвиге)

$$\gamma_t = \omega(t-v) f\left(\frac{\tau}{\tau_{f.st}}\right) = \omega(t-v) f\left(\frac{\tau}{\sigma_z \operatorname{tg}\varphi + c}\right),$$

где v – момент приложения касательного напряжения; $\tau_{f.st}$ – стандартное сопротивление сдвигу.

Для описания процессов термо- и виброползучести предложено уравнение

$$\gamma_t = \omega(t-v) f\left[\tau/\tau_{f.st}(\sigma_{z,t} - v, T_0, a_0, \omega_0, \omega)\right],$$

где T_0 – температура; ω_0 – частота колебаний; a_0 – амплитуда колебаний.

Ползучесть может происходить с постоянной или уменьшающейся скоростью, но может возникать (при больших уровнях напряжений) и незатухающая с увеличивающейся скоростью (прогрессирующая ползучесть), приводящая к разрушению.

При приложении или снятии нагрузок происходят процессы уплотнения или набухания водонасыщенного грунта, т.е. возникают процессы разжижения или притока. Продолжительность консолидации определяется водопр-

нищаемостью грунта, структурной прочностью, ползучестью скелета, характером напластований.

Для прогноза развития осадок во времени используют теорию фильтрационной консолидации. При этом рассматривают полностью водонасыщенные грунты. Вода из пор отжимается только в вертикальном направлении. В начальный момент времени (приложения нагрузки) давление передаётся на воду, а затем постепенно на скелет грунта.

Осадка в любой момент времени

$$S_t = US,$$

где U – степень уплотнения во времени; S – конечная осадка, например вычисленная по СП.

Величина $U = f(N_R)$, где $N_R = \frac{\pi^2 C_v t}{4h_s^2}$, t – время от начала приложения нагрузки, h_s – толщина уплотняемого слоя, C_v – коэффициент консолидации:

$$C_v = \frac{K_\phi E}{\gamma_\omega \beta},$$

где K_ϕ – коэффициент фильтрации, $\beta = f(v)$.

Мера деформаций ползучести бетона по формуле С. В. Александровского–В. Д. Харлаба (рис. 8.6)

$$C(t, \tau) = C(t, \tau) + \frac{1}{E(\tau)} - \frac{1}{E(t)}.$$

Для аппроксимации удельных деформаций ползучести бетона используется формула В. М. Бондаренко:

$$C(t, \tau) = C(\infty, \tau) - \left\{ \frac{[C(\infty, \tau) - C(t, \tau)]^{m-1}}{1 + \alpha(t/\tau - 1)(m-1)} \right\}^{\frac{1}{m-1}},$$

где $C(t, \tau)$ – текущее значение меры ползучести, МПа⁻¹; $C(\infty, \tau)$ – предельная мера ползучести, МПа⁻¹; $C(t, \tau)$ – начальная мера быстропотекающей ползучести, МПа⁻¹; α – эмпирический параметр, зависящий от вида бетона и действия внешней среды; m – эмпирический параметр кинетики ползучести; t – время наблюдения в сутках; τ – возраст бетона в момент заграждения в сутках.

Предел длительной прочности бетона с позиций механики разрушения по формуле Ю. В. Зайцева

$$\eta(t, \tau) = \frac{R_{bl}(t, \tau)}{R_b(\tau)} = \frac{m(t, \tau)R_b(t)}{R_b(\tau)} \sqrt{\frac{E_b(\tau)}{E_b(t)} \left(\frac{1}{1 + E_b(\tau) \cdot C(t, \tau)} \right)},$$

где $R_{bl}(t, \tau)$ – длительное сопротивление бетона осевому сжатию; $R_b(\tau)$, $E_b(\tau)$ – соответственно призмная прочность и модуль упругости бетона в момент приложения длительной нагрузки; $R_b(t)$, $E_b(t)$ – то же, в момент окончания действия длительной нагрузки, когда свойства бетона стабилизируются; $C(t, \tau)$ – удельные деформации ползучести бетона; $m(t, \tau) = R_b^*(t) / R_b(t)$ – отношение кратковременной прочности бетона с учётом предшествующего длительного нагружения к кратковременной прочности бетона, нагруженного впервые.

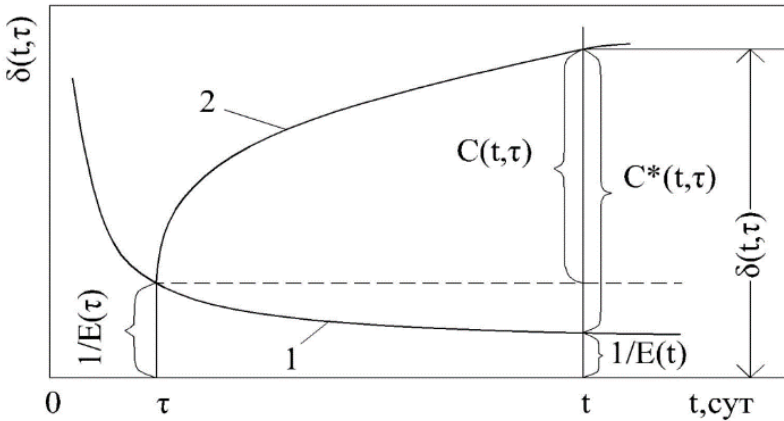


Рис. 8.6. Модельные кривые полных деформаций $\delta(t, \tau)$ бетона, нагруженного постоянными единичными напряжениями:

- 1 – упруго-мгновенные деформации, возникающие в момент нагружения;
 2 – полные деформации, развивающиеся вследствие ползучести

Винклер Э. предложил модель грунта в виде системы ничем не связанных между собой упругих пружин. При нагружении локальной нагрузкой будут сжиматься пружины, непосредственно расположенные под площадкой нагружения. После снятия нагрузки пружины полностью распрямляются. При такой модели упругая среда не обладает распределительной способностью. Её рассматривают как гидростатическое упругое основание. Под влиянием нагрузки балка прогибается и опускается в воду на величину прогиба y . При этом по закону Архимеда создаётся направленная вверх погонная сила $P = -\gamma by$, где γ – удельный вес жидкости; b – ширина балки.

Реакция со стороны жидкости пропорциональна прогибу. Эту схему используют для расчёта фундаментов. Вместо γ вводится коэффициент жёсткости или постели c или k (Н/см³): $P = cby$.

Для расчёта реологических свойств винклеровской модели предложено уравнение

$$p(x, t) = c(x) \left[\omega(x, t) - \int_0^t \omega(x, t) R(t, r) dr \right],$$

где $p(x, t)$ – реакция основания; $R(t, r)$ – ядро релаксации, представляющее собой резольвенту ядра ползучести $K(t, r)$.

В этом уравнении упругие свойства c не зависят от времени. В данной модели можно выделить следующие недостатки:

- деформация основания происходит только в области приложения нагрузки;

- величина коэффициента постели зависит от размеров штампа, которым проводится испытание. Чем меньше размер штампа, тем больше величина K_s .

8.4. СПОСОБЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ

В науке известно несколько предложений по усовершенствованию модели Винклера. Так, М. М. Филоненко-Бородич (1940) усовершенствовал модель, наделив её распределительной способностью. Он дополнительно ввёл мембрану, перекрывающую с поверхности упругие элементы. При этом включаются в деформирование зоны под площадкой нагружения и прилегающие области полупространства.

В современности происходит прорыв в совершенствовании вычислительной техники, приведший к появлению современных ЭВМ с большим объёмом памяти и высокой скоростью выполнения арифметических операций. В результате возникла материальная база для становления и быстрого развития математического моделирования и появились предпосылки для использования вычислительного эксперимента не только для существующих зданий и сооружений, но и при их проектировании, подборе и оптимизации эксплуатационных режимов, анализе надёжности, прогнозировании отказов и аварийных ситуаций, а также при оценке возможностей улучшения технических характеристик. Математическое моделирование играет важнейшую роль при информационном сопровождении всего жизненного цикла зданий и сооружений с применением современных цифровых технологий.

Современные технологии позволяют использовать системы автоматизированного проектирования (САПР), дающие возможность создавать чертежи с высокой точностью. 2D-моделирование в системах САПР возможно с помощью такой программы, как, к примеру, AutoCAD.

Говоря о 3D-моделях, мы касаемся современного вида моделирования: BIM, или информационное моделирование зданий. Это подход к возведению, оснащению, эксплуатации и ремонту (а также сносу) здания (к управлению жизненным циклом объекта), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект.

Разработка BIM-модели – это создание трёхмерной модели здания, либо другого строительного объекта, связанная с базой данных, в которой каждому элементу модели можно присвоить все необходимые технические характеристики. Особенность такого подхода заключается в том, что строительный объект проектируется фактически как единое целое: изменение какого-либо

из его параметров влечёт за собой автоматическое изменение связанных с ним параметров и объектов, вплоть до чертежей, визуализаций, спецификаций и календарного графика. Самой популярной программой для BIM-моделирования можно назвать Revit, однако в последние годы всё большую популярность в рамках импортозамещения занимает – российская BIM-система Renga. Созданные модели в названных системах отлично координируют информацию, обеспечивая контроль качества, эффективность проектирования, возведения и эксплуатации. Программы позволяют автоматизировать выполнение разнообразных рутинных задач, включая проверку моделей на коллизии, тем самым ускоряя процесс проектирования при минимизации ошибок при этом. Всё это является немаловажным моментом надёжности и долговечности зданий и сооружений в течение их эксплуатации за весь жизненный цикл.

Существуют также и специальные комплексы, нацеленные на расчёт определённых видов конструкций. Так, уже названные Revit и Renga сочетают в себе возможность моделирования вместе с возможностью производить некоторые расчёты. Например, для проектирования и расчёта строительных конструкций различного назначения используется многофункциональный программный комплекс ЛИРА-САПР, который реализует и технологию информационного моделирования. Популярной российской системой трёхмерного проектирования является также Компас-3D. Для расчёта различных конструкций широко используется программное обеспечение: Лира, Мономах, Сапфир, SCAD Office, Robot Structural Analysis и др.

Лекция 9

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НДС ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Напряжённо-деформированное состояние (НДС) конструкции – совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на неё внешних нагрузок, температурных полей и других факторов.

9.1. ОСЛАБЛЕНИЯ ПОД УГЛОМ ЗДАНИЯ

В случае отдельно стоящих зданий и сооружений под действием нагрузки, приложенной к основанию через фундамент, в грунте основания возникает напряжённое состояние, которое вызывает развитие деформаций, приводящих к перемещению (осадке) фундамента и поверхности вокруг него. При строительстве в стеснённых условиях вследствие изменения напряжённого состояния основания осадку получает не только возводимое здание, но и существующие здания и сооружения, попадающие в зону влияния нового строительства.

Проблемой возникновения и оценки дополнительных осадок зданий и сооружений в разное время занимались В. Н. Бронин, В. П. Вершинин, Б. И. Далматов, Н. А. Ибадильдин, В. А. Ильичев, П. А. Коновалов, Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова, В. В. Семенюк-Ситников, В.Г. Симагин, Г. М. Скибин, С. Н. Сотников, В. М. Улицкий, А. Л. Четвериков, А. Г. Шашкин, R. Katzenbach, E. Schultze и др.

Единые европейские нормы относят возведение зданий на структурно-неустойчивых грунтах в условиях городской застройки к III наиболее сложной геотехнической категории сразу по двум позициям, указывая проектировщикам на сложность решаемых ими проблем. Анализ аварий последних лет, произошедших у нас в стране и за рубежом, показывает, что 70% «отказов» зданий происходит по причине ошибок на стадии геотехнических работ.

В настоящее время в практике проектирования широко применяются следующие методы определения конечных осадок фундаментов: метод послойного суммирования, уточнённый метод послойного суммирования, метод линейно деформируемого слоя, метод эквивалентного слоя Н. А. Цытовича и др. Однако приведённые даже в нормативных документах (СНиП, СП, ТСН) методы расчёта осадок дают существенно различные результаты. Это связано с тем, что значения осадок в первую очередь зависят от гипотезы, заложенной в основу расчётной модели грунта и тех допущений, которыми каждая из гипотез ограничена.

Метод послойного суммирования, основанный на законе линейно деформируемого полупространства для одноразового нагружения, является на сегодняшний день основным расчётным методом нормативных документов по определению осадок фундаментов. Однако прогноз осадок сооружений по схеме однородного упругого полупространства не вполне отражает

деформативность грунтового основания, представляющего собой дискретную, многофазную, с выраженными реологическими свойствами систему. Применение данного метода целесообразно в том случае, если решаемые с его помощью задачи фундаментостроения отвечают интересам практики и не противоречат данным, полученным в результате натуральных наблюдений.

Уточнённый метод послойного суммирования, предложенный В. Н. Брониным в 1983 году, позволяет учитывать дополнительные горизонтальные нормальные напряжения, упруго возникающие при деформации грунтового массива, но данный метод также основан на линейной зависимости между деформациями и напряжениями.

Метод расчёта осадки линейно деформируемого слоя, разработанный К. Е. Егоровым (1958), не позволяет определять осадку с учётом загрузки соседних фундаментов.

Метод эквивалентного слоя Н. А. Цытовича (1983) рассматривает деформации грунтов в пределах бесконечного полупространства. Данным методом, как считает Н. А. Цытович, можно пользоваться при площади подошвы фундаментов менее 50 м². Это ограничивает возможность использования метода для определения осадки фундаментов с учётом загрузки соседних площадей.

Метод ограниченной сжимаемой толщи, предложенный Б. И. Далматовым в 1968 году и впоследствии усовершенствованный А. А. Собениным (1974), позволяет с помощью кольцевых графиков учесть влияние одновременно возводимых фундаментов на осадку основания в любой заданной точке, расположенной на удалении от них. Однако необходимо отметить, что определение напряжённо-деформированного состояния грунтов основания с помощью графических зависимостей изначально вносит погрешность в результаты расчётов.

Общим недостатком перечисленных выше методов расчёта осадок фундаментов является постоянство значения модуля деформации или коэффициента относительной сжимаемости в пределах отдельного слоя. Фактически модуль деформации в значительной степени зависит от напряжённого состояния грунта. В связи с этим были предложены следующие модели грунтового основания: с линейно возрастающим по глубине модулем деформации (Г. И. Покровский), с искусственно увеличенным модулем (М. И. Горбунов-Посадов), однородного слоя с жёстким подстиланием (К. Е. Егоров), билинейная модель (В. Н. Широков, В. Г. Федоровский).

В. А. Ильичевым, П. А. Коноваловым, Н. С. Никифоровой введён дополнительный критерий деформаций для зданий вблизи глубоких котлованов – кривизна подошвы фундаментов, которая «используется для установления предельных деформаций основания по условиям прочности и трещиностойкости». Разработан экспериментально-аналитический метод расчёта осадок зданий на ленточных фундаментах вблизи котлована, учитывающий жёсткость и вес здания. При расчётах модель здания принималась в виде загруженной равномерно распределённой нагрузкой полубесконечной балки.

Большой вклад в теорию нелинейного деформирования грунтов внесли такие зарубежные исследователи, как D. G. Drucker, R. M. Haythoruthwaite, J. Holubce, H. B. Poorooshasb, W. Prager, K. H. Roscoe, A. N. Sherbourue, R. T. Shield и др.

Расчёт напряжённо-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений совместно с грунтовыми основаниями в последнее время выполняется с использованием численных методов. В исследованиях многих зарубежных и отечественных учёных, таких как С. М. Алейников, В. П. Дыба, Ю. К. Зарецкий, М. В. Малышев, Ю. Н. Мурзенко, З. Г. Тер-Мартirosян, С. Б. Ухов, А. Б. Фадеев, В. А. Флорин, Н. А. Цытович, М. А. Biot, C. S. Desai, Y. C. Fung, R. J. Melosh, Y. Yamada, показано, что наиболее полно учесть пластические и реологические свойства материалов и грунтов можно с использованием хорошо разработанного аппарата механики сплошной среды. При этом целесообразно применять численные методы.

Наиболее распространёнными среди численных методов являются метод конечных разностей и метод конечных элементов.

Моделирование методом конечных разностей заключается в замене дифференциальных коэффициентов уравнения на разностные коэффициенты, что позволяет свести решение дифференциального уравнения к решению его разностного аналога, т.е. построить его конечно-разностную схему. Достоинство метода конечных разностей состоит в том, что его можно применять практически к любой системе дифференциальных уравнений, но учёт граничных условий задачи очень часто является трудно программируемой операцией.

Суть моделирования методом конечных элементов заключается в разбиении сплошной среды (конструкции или грунта в целом) на области (конечные элементы), в каждой из которых поведение среды описывается с помощью отдельного набора выбранных функций, представляющих напряжения и перемещения в указанной области. Подбор функции, удовлетворяющей дифференциальным уравнениям и краевым условиям, осуществляется с использованием специальных методов. Преимущество данного метода заключается в том, что можно эффективно формировать граничные условия совершенно нерегулярных и сложных конструкций и напластований грунтов. Поэтому при выполнении геотехнических расчётов широко используется метод конечных элементов.

9.2. БЛИЗКО РАСПОЛОЖЕННЫЕ ЗДАНИЯ

Возведение зданий вблизи или вплотную к существующим зданиям является значительно более сложной задачей, чем строительство отдельно стоящего дома. Это связано с тем, что строительство нового здания вблизи уже существующего вызывает дополнительное уплотнение основания, в результате чего увеличиваются напряжения в грунте, что в свою очередь может привести к появлению в кладке стен ранее построенных зданий трещин, перекосов проёмов и лестничных маршей, к сдвигу плит перекрытий

и т.п. Особенно возрастает опасность подобных деформаций при строительстве на основаниях, сложенных слабыми грунтами. Так, в Москве при опускании колодца для подземного гаража при строительстве делового центра на Мясницкой улице аварийные деформации получили расположенное рядом пятиэтажное жилое здание, которое позже было полностью разобрано.

Сотников С. Н. (1986) приводит данные по обследованию в Санкт-Петербурге 128 домов, вблизи которых были построены новые здания. До 80% из них получили повреждения различной степени, вплоть до аварийных. Неповреждёнными оказались в основном дома, которые были выше новых, а чем выше существующих были новые дома, тем значительнее оказались повреждения. Аналогичное положение отмечалось в других городах страны, а также в ряде промышленных объектов.

При строительстве зданий в стеснённых условиях основными факторами, определяющими долговечность сооружений, являются деформации оснований, их осадки, под которыми понимают вертикальное смещение грунтовых оснований. Как известно, равномерная осадка всего сооружения не вызывает дополнительных напряжений в его конструкциях, тогда как разность осадок отдельных частей основания особенно сказывается на прочности фундаментов и надфундаментных конструкций.

Под действием дополнительных нагрузок от нового строительства основания существующих зданий претерпевают деформации, внешним проявлением которых чаще всего являются неравномерные осадки и крены существующих зданий. В результате этого происходит перераспределение усилий в надземных частях здания, которые могут вызвать образование в них трещин и даже их разрушение.

Осадку, которую получают существующие здания при уплотнении городской и промышленной застройки, принято называть дополнительной (S_{ad}). Критерий допустимости дополнительных деформаций, согласно п. 9.37 СП 22.13330.2016, записывается в следующем виде:

$$S_{ad} \leq S_{ad,u},$$

где S_{ad} – дополнительная осадка основания фундамента (совместная дополнительная деформация основания и сооружения), определяемая в соответствии с указаниями п. 9.33 СП 22.13330.2016 с учётом совокупности воздействий, связанных с новым строительством или реконструкцией;

$S_{ad,u}$ – предельное значение дополнительной осадки основания фундаментов (предельное значение совместной дополнительной деформации основания и сооружения), устанавливаемое в соответствии с указаниями прил. Л СП 22.13330. 2016 с учётом категории технического состояния сооружения окружающей застройки (прил. Е СП 22.13330.2016; табл. 2.1).

Дополнительная осадка (в отличие от собственной осадки) возникает в результате трёх главных причин:

1) строительно-технологических воздействий на грунт основания существующего здания – дополнительная строительно-технологическая осадка ($S_{ad,t}$);

2) изменения напряжённого состояния основания существующего здания при загрузении массива грунта новым зданием – дополнительная осадка, вызванная уплотнением основания существующего здания вследствие передачи статической нагрузки от нового здания ($S_{ad.s}$);

3) воздействий технологического оборудования, размещённого в новом здании, на основания соседних зданий – дополнительная эксплуатационная осадка ($S_{ad.e}$).

Осадки $S_{ad.t}$ и потеря устойчивости грунта основания соседних домов особенно опасны, когда новые сооружения возводятся в глубоких котлованах.

Наиболее существенными причинами развития строительно-технологической осадки $S_{ad.t}$ являются:

- разработка котлованов и траншей, прокладка подземных коммуникаций, пешеходных и транспортных тоннелей, особенно с применением водопонижения и без крепления стенок котлованов и траншей;

- откопка строительного котлована глубже подошвы существующих фундаментов;

- промораживание и оттаивание грунта под фундаментами зданий при зимнем ведении работ в соседнем котловане.

Обстоятельства, приводящие к промерзанию и пучению грунтов основания, различны. Основной причиной промерзания грунтов при разработке котлована вблизи существующих фундаментов является нарушение правил производства работ в морозное время, т.е. недостаточность теплоизоляции существующих фундаментов и оснований. В связи с этим работы по возведению котлована вблизи существующих фундаментов в осенне-зимний период проводить не рекомендуется, а выкопанные летом и осенью котлованы необходимо засыпать до наступления морозов;

- разуплотнение основания восходящими потоками подземной воды при удалении её открытым способом;

- ухудшение свойств грунта в основании работающими землеройными, сваебойными, уплотняющими машинами и механизмами (например, использование при разработке котлована и удалении из него разбираемых старых фундаментов экскаватором с ковшом драглайн, передающим на грунт интенсивные динамические воздействия;

- применение для рыхления мерзлого грунта и разрушения старых фундаментов тяжёлых ударных механизмов (шар-молота или клин-молота). Влияние их динамической работы сказывается на состоянии грунта в зависимости от его вида на расстоянии до 20 м и более;

- затопление основания подземными и поверхностными водами;

- выдавливание пльвунных грунтов во время разработки котлована;

- нарушение требований проекта производства работ по разработке котлована, креплению его стенок и возведению фундаментов в части устройства неподвижного шпунта и сохранения естественной структуры грунтов оснований соседних зданий;

- отклонение шпунтовых стен котлована, если возле него имеются старые дома.

Дополнительная осадка $S_{ad.s}$ возникает, поскольку вокруг возводимого здания формируется «осадочная воронка», размеры которой в плане соизмеримы с мощностью сжимаемой зоны основания (до 20...30 м и более). При этом наибольшие осадки образуются в пределах ближайших 10 м от участка загрузки основания новым зданием.

Характер деформаций (осадок и кренов) при взаимном влиянии фундаментов зависит от условий загрузки этих фундаментов, т.е. от времени приложения нагрузок. Так, если загрузка оснований двух фундаментов происходит одновременно, то здания или сооружения получают наклон в направлении друг к другу. Когда фундаменты возводятся и нагружаются последовательно, то здания, возведённые во вторую очередь (при прочих равных условиях), получают осадку, меньшую, чем возводимые одновременно. Крен зданий и первой, и второй очереди оказывается направленным в одну сторону. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании.

Дополнительные воздействия от производственно-технологического оборудования, размещаемого в новых зданиях (сооружениях), могут вызывать дополнительную осадку $S_{ad.e}$ фундаментов соседних зданий, дорог и коммуникаций.

Наиболее опасны вибрационные воздействия на грунт при работе массивных молотов, прессов, мощных компрессоров и других механизмов, генерирующих колебания низких частот, соизмеримых с частотами собственных колебаний строительных конструкций. В таких случаях требуется применять средства виброзащиты. Опасны также агрессивные стоки химических производств из-за влияния на грунт и фундаменты соседних зданий.

9.3. ОСЛАБЛЕНИЕ В ВИДЕ КАРСТА

Методика расчёта и проектирования карстозащитных фундаментов для зданий и сооружений на закарстованных территориях зависит от комплекса мероприятий противокарстовой защиты и предполагает два возможных варианта защиты:

- 1-й вариант – путём создания такой конструктивной схемы подземной части здания, которая не позволит допустить усилия в несущих конструкциях больше допустимых, без изменения условий развития карстовых деформаций в основании;

- 2-й вариант – путём устройства защитных геотехнических экранов в основании фундаментов или над карстующимися грунтами, или в толще карстующихся грунтов, исключаящих либо существенно снижающих влияние негативных процессов карстообразования на несущие конструкции здания, с изменением условий развития карстовых деформаций в основании.

Выбор варианта защиты от образования карстовых деформаций определяется уровнем карстовой опасности. В нормативной литературе эти два ва-

рианта защиты от образования карстовых деформаций отнесены к соответствующим группам мероприятий противокарстовой защиты (конструктивные и геотехнические) и соответственно требования к расчёту карстозащитных фундаментов в зависимости от варианта защиты существенно отличаются.

Целью конструктивных мероприятий противокарстовой защиты является предотвращение разрушения сооружения при образовании карстовых деформаций в основании фундамента.

Мероприятия конструктивной противокарстовой защиты проектируются на основе расчётов, обеспечивающих несущую способность фундаментов и надфундаментных конструкций, достаточную для восприятия дополнительных нагрузок, возникающих при образовании карстовых деформаций в основании, что, как правило, достигается двумя путями:

- 1) расчётом фундаментов совместно с надфундаментными конструкциями при образовании карстовых деформаций заданных параметров;
- 2) прорезанием карстующихся грунтов и опиранием фундаментов на малосжимаемые грунты.

Расчётные параметры карстовых деформаций определяются в зависимости от типа карстовых деформаций. Возможны три варианта развития карстовых деформаций: по типу «провал», когда карстовая полость развивается в карстующихся грунтах и «всплывает» под подошву фундамента; по типу «оседание» в результате развития суффозионных процессов в покрывной толще; по типу «локальное оседание», когда карстовая полость развивается в карстующихся грунтах или в покрывной толще, но не всплывает под подошву фундамента (рис. 9.1).

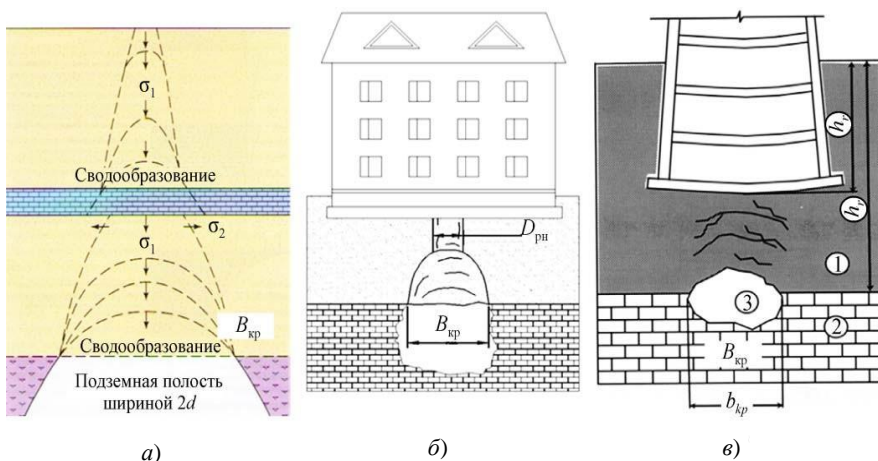


Рис. 9.1. Схемы карстовых деформаций:
a – схема провалообразования; *б* – карстовая деформация – провал;
в – карстовая деформация – локальное оседание

Выбор варианта развития карстовых деформаций определяется грунтовыми условиями и конструктивными особенностями здания. Принимается наиболее опасный вариант развития карстовых деформаций. Для мелкозаглублённых зданий целесообразно выполнять расчёты на образование карстового провала под подошвой фундамента, при этом в качестве расчётного параметра карстовой деформации принимается расчётный диаметр карстового провала, или на образование мульды оседания с заданными параметрами. Для зданий с подземной частью наиболее опасным вариантом может быть карстовая деформация по типу «локальное оседание», так как фундамент приближается к карстующимся грунтам и рост полости в них, даже при условии сохранения устойчивости свода, может вызвать значительные дополнительные усилия в несущих конструкциях подземной части. При этом в качестве расчётного параметра карстовой деформации может быть принят размер карстовой полости, при котором свод полости устойчив. На рисунке 9.2 показан пример определения размера карстовой полости в карстующихся грунтах, при котором свод полости устойчив.

Выполнялось математическое моделирование роста карстовой полости с использованием конечно-элементной модели грунтового массива путём исключения ослабленных зон (зон локальной потери устойчивости) вокруг карстовой полости при постоянном контроле условий равновесия свода.

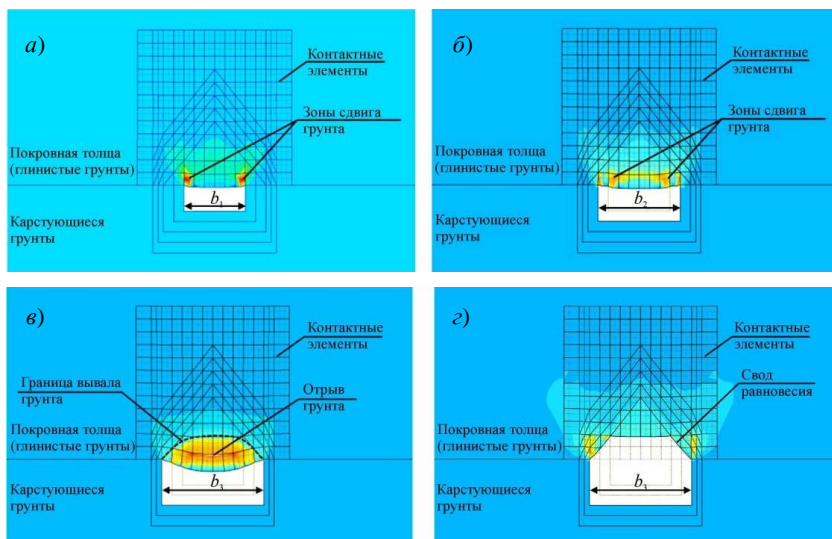


Рис. 9.2. Изополя сдвиговых деформаций:
a – в – ширина полости $b = b_1, b_2, b_3$ ($b_1 < b_2 < b_3$);
г – образование свода равновесия при $b = b_3$

Процесс роста полости происходит до образования максимального диаметра полости, при котором выполняется условие равновесия системы в допредельном состоянии грунта покровной толщи.

Расчётные положения, обеспечивающие эксплуатационную надёжность карстозащитных фундаментов, включают расчётные требования и расчётные критерии.

Основными расчётными требованиями, устанавливаемыми нормативными документами, являются обеспечение прочности фундаментов (1-е предельное состояние) и недопущение развития предельных неравномерных деформаций основания здания (2-е предельное состояние), а расчётными критериями – несущая способность основания фундаментов, несущая способность сечений ростверка и допускаемые неравномерные деформации основания. Расчёт фундаментов на образование карстовых деформаций включает два основных этапа, а именно: статический расчёт при образовании карстовых деформаций и сопоставление результатов расчёта усилий в сечениях ростверка, давлений под подошвой фундамента, нагрузок на сваи и деформаций оснований с расчётными критериями. Для проектирования надёжных и экономичных фундаментов важно и в статическом расчёте, и при определении расчётных критериев учесть влияние образования карстовых деформаций на напряжённо-деформированное состояние основания и несущих конструкций.

Статические расчёты фундаментов в условиях значительных неравномерных деформаций, являющихся следствием образования карстовых деформаций, рекомендуется выполнять с учётом жёсткости надфундаментной части здания. Оснащённость проектных институтов современными программными комплексами позволяет выполнять расчёты фундаментов при образовании карстовых деформаций как аналитически, так и путём численного моделирования с использованием процедуры МКЭ. Сложность данных расчётов связана не с процедурой расчёта, а с высокой степенью неопределённости при задании исходных данных и об основании, и о сооружении. При этом большее количество вопросов возникает всегда при моделировании основания с учётом образования карстовых полостей. Учитывая, что геометрические размеры карстовых полостей в карстующихся породах строго не определены, а моделирование процесса карстообразования в основании фундаментов здания не может гарантировать надёжность результатов расчёта фундаментов, наиболее простым решением в данном случае является моделирование карстового провала под подошвой фундамента в соответствии с размерами, определяемыми статистико-вероятностными методами. При этом в местах образования провалов грунт «уходит» из-под подошвы фундамента, а нагрузка перераспределяется на соседние участки, где обеспечен контакт фундамента с грунтом основания. Моделирование поведения основания при образовании карстовых деформаций под подошвой фундамента возможно с использованием как упругопластических моделей основания, так и контактной модели.

Расчётная модель основания должна учитывать сложное напряжённое состояние покрывной толщи грунта над карстовой полостью и конструктивные особенности здания и фундаментов. Контактная модель основания, или модель переменного коэффициента постели, по сравнению с другими моделями основания является наиболее простой и понятной для инженера-практика, позволяет учесть и неоднородность основания, и его реальную распределительную способность. Использование этой модели в численном моделировании, особенно с учётом взаимодействия здания и основания, позволяет также уменьшить порядок решаемой системы уравнений по сравнению с упругими и упругопластическими моделями основания и, соответственно, снизить погрешности расчёта.

Применение упругих моделей грунта типа «линейно деформируемое полупространство с воронкой у поверхности» для расчётов фундаментов при образовании карстовых деформаций нежелательно в связи с тем, что механизм карстообразования обязательно предполагает образование зон пластических деформаций. Практический расчётный опыт российских инженеров-исследователей подтверждает эффективность использования в расчётах фундамента при образовании карстовых деформаций комбинированного подхода, основанного на применении упругопластической модели грунта для расчёта напряжений, деформаций и коэффициентов постели основания.

Расчёт с использованием упругопластической модели грунта позволяет определить напряжения и деформации в основании фундамента с учётом заданных форм карстопроявления. Учитывая, что в применяемых расчётных комплексах используется более 10 типов моделей упругой и упругопластической среды, отличающихся определяющими физическими уравнениями связи между напряжениями и деформациями, а также используемыми прочностными и деформационными характеристиками, важнейшей задачей расчётчика является выбор модели, адекватно отражающей состояние грунта вокруг карстового провала или над карстовой полостью. Поэтому такие расчёты достаточно трудоёмки и требуют высокой квалификации расчётчика. Практически на каждом объекте должно выполняться исследование НДС основания, что для практического инженера весьма проблематично. В этих условиях наиболее эффективным путём определения коэффициентов постели основания является определение их с применением понижающих коэффициентов к коэффициентам постели, определённым по стандартным методикам, без учёта образования карстовых деформаций.

При образовании карстовых деформаций по типу «провал», или «оседание», податливость основания снижается в связи с разуплотнением грунта вокруг провала и увеличением нагрузки на эти участки основания фундаментов в первом случае и в связи с ослаблением основания и разгрузкой на соседние более прочные участки основания – во втором. Поэтому специалистами ГУП «Институт “БашНИИстрой”» предложено коэффициент постели

основания (коэффициент жёсткости свай) вокруг карстового провала K_1 определять с понижающими коэффициентами ξ к коэффициентам постели (коэффициентам жёсткости свай) за пределами карстового провала K , рассчитываемым по стандартным методикам, т.е. без учёта образования карстовых деформаций:

$$K_1 = \frac{K}{\xi}.$$

По результатам численных и натурных исследований разработаны методы определения коэффициентов ξ для свайных ленточных, плитных фундаментов.

9.4. РАЗНОАГРУЖЕННЫЕ ЧАСТИ ЗДАНИЯ

В местах сопряжения продольных и поперечных различно нагруженных стен часто появляются наклонные или вертикальные сквозные трещины. Наличие связи между стенами препятствует свободной деформации. В зоне сопряжения развиваются напряжения сдвига и растяжения.

Отмечено влияние пространственной ориентации здания или сооружения на степень повреждённости отдельных конструкций; отклонение кирпичных стен от нормативных показателей.

Довольно часто в строительной практике встречается отклонение конструктивных элементов от вертикали и горизонтали, что в одних случаях просто портит эстетический вид, а в других – влияет на работу всей конструкции и приводит к возникновению дефектов и аварий.

Низкое качество работ:

- отклонение от горизонтали и вертикали поверхностей, рядов кладки и углов элементов из-за слабого геодезического контроля; при допустимом отклонении по вертикали на 1-й этаж 10 мм и не более 30 мм на всю высоту здания отмечаются отклонения в гораздо больших размерах; отклонения стен от вертикали приводят к образованию эксцентриситета продольных усилий со снижением несущей способности;

- толщина горизонтальных и вертикальных швов в кладке превышает допустимую толщину в 10...12 мм; швы заполняются раствором не полностью, что приводит в дальнейшем к перенапряжениям в конструкции, образованию трещин и возможному разрушению;

- нарушение проектных требований перевязки швов и кладки как на отдельных участках стен, так и в местах примыканий несущих пилястр к стенам или несущих поперечных стен к продольным стенам, что приводит к образованию вертикальных трещин и отделению одного участка кладки от другого;

- кладка столбов и узких простенков стен выполняется часто по многорядной системе перевязки в 5–6 рядов вместо требуемой трёхрядной или цепной системы перевязки;

- применение кирпича-половняка и кирпичного боя в несущих ответственных конструкциях, хотя это и допускается только в кладке забутовки и для малонагруженных элементов;

- плохое сцепление кирпича с раствором, которое возникает по разным причинам, чаще всего в зимнее время при укладке обледеневшего кирпича на неочищенную от снега поверхность; в жаркую летнюю погоду, наоборот, укладка чрезмерно сухого кирпича, который быстро забирает влагу из раствора и обезвоживает его. Обезвоженный раствор, особенно цементный, практически не имеет сцепления с кладкой и легко отделяется от кирпича, что резко

снижает несущую способность конструкции.

Нарушение правил производства работ в зимних условиях:

- применение раствора для зимней кладки методом замораживания без подогрева и без химических добавок, снижающих температуру замерзания раствора, что не позволяет раствору набрать до замерзания даже минимальную прочность, в связи с чем в период первого оттаивания в конструкциях возникает неравномерная осадка при резком снижении прочности кладки;

- использование раствора, доставленного на самосвалах, после длительного открытого хранения раствора на строительном объекте, после разбавления частично смёрзшегося раствора дополнительным количеством воды для придания ему пластичности;

- игнорирование выполнения мероприятий по обеспечению устойчивости и усилению несущих конструкций в период первого оттаивания во избежание перегрузок, а также мероприятий по предупреждению последствий перераспределения нагрузок на конструкции и связанного с этим возможного появления деформаций в здании при неравномерном оттаивании различных конструктивных элементов.

Силовые факторы и воздействия на каменные конструкции:

- дефекты и повреждения каменной кладки от воздействия силовых факторов возникают в наиболее нагруженных элементах каменных конструкций: несущих каменных столбах, простенках, пилястрах и др.

Эти элементы работают в основном на центральное и внецентренное сжатие. Повреждение каменных сжатых элементов от силовых воздействий обычно сводится к образованию продольных трещин, которые с увеличением нагрузки развиваются по высоте, соединяются между собой и разделяют кладку на отдельные вертикальные гибкие столбики. Из-за потери устойчивости столбики последовательно разрушаются, что приводит в конечном итоге к разрушению всей конструкции. Наиболее часто встречающимся силовым повреждением элементов из каменной кладки является повреждение, вызванное местной перегрузкой при опирании на них металлических или железобе-

тонных балок без устройства опорных железобетонных подушек, применения неармированных бетонных подушек, стальных распределительных пластин или армирования кладки.

Отклонение от проектных требований:

- применение кирпича и раствора меньшей марки и других видов (например, силикатного кирпича вместо керамического) по сравнению с предусмотренным в проекте. Это может привести к существенному снижению несущей способности стен, простенков, столбов;
- анкерные металлические связи в углах здания или в местах примыкания внутренних стен к наружным либо вообще не устанавливаются, либо не заделываются на требуемую длину 1 м, считая от внутреннего угла; отсутствие связей или малая их анкеровка приводят к образованию вертикальных трещин, отделяющих более нагруженные стены от менее нагруженных;
- отсутствие опорных железобетонных подушек в местах передачи на кладку больших сосредоточенных нагрузок (под опорами стропильных балок и прогонов, под рёбрами плит покрытия и др.) или установка опорных подушек, не содержащих арматуры, с возможным их раздавливанием и последующим разрушением расположенной под ней кирпичной кладки;
- загрузка каменных конструкций постоянной нагрузкой до достижения кладкой необходимой прочности.

Лекция 10 ПРОБЛЕМЫ ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

10.1. СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДОВ

Ежегодно в мире образуется более 2,1 млрд т отходов, примерно 30...40% из них не перерабатываются экологически безопасным способом. Твёрдые коммунальные отходы (ТКО), отходы производства и потребления – одна из основных экологических проблем, которая несёт в себе потенциальную опасность для здоровья людей и природы.

В развитых странах действует политика по переработке и вторичному использованию отходов, в Германии – 60% ТКО подлежит переработке, в некоторых городах Японии перерабатывается до 80% отходов. Развитые зарубежные страны стараются перейти на «безотходные технологии» и экономичку замкнутого цикла. Гонконг генерирует около 1,3 млн т отходов от демонтажа зданий в год, Китай – более 2 млрд т в год, что составляет около 40% от общего объёма ТКО, скорость рекуперации (обработка сырья для повторного применения) таких отходов составляет около 55%.

Возведение объектов из привычных материалов и традиционным способом негативно сказывается на состоянии окружающей среды. Для производства строительных материалов (бетона, арматуры, стекла, пластика и пр.) работают заводы, выделяя вредные выбросы и CO₂, применение деревянных стройматериалов приводит к уменьшению деревьев и лесов.

Во многих российских городах большое количество ветхих зданий, существовавших многие годы, подлежат сносу. Длительное время такие объекты ликвидировались с помощью взрывов, после чего экскаватор вывозил строительные отходы (бетон, стекло, металл) специальными насадками на лицензированные полигоны для обработки, дальнейшего размещения и обезвреживания особо вредных составляющих, так как разложение вредных веществ, входящих в состав многих строительных материалов (свинца, асбеста и др.), сильно влияет на экологию.

Для минимизации строительных отходов и повторного их использования в производстве необходима сортировка отходов производства и потребления по типу материала. Существуют различные способы демонтажа здания: ручной, с привлечением спецтехники и комбинированный. Выбор способа демонтажа может значительно упростить процесс сортировки строительных отходов.

В России имеется дефицит предприятий, занимающихся переработкой отходов производства и потребления, есть, например, площадка для переработки отходов в Москве, фирма «Сатори» производит рециклинг (возвращение отходов в процессы техногенеза) строительных отходов, их повторное

промышленное потребление, но таких компаний в нашей стране недостаточно. Необходимо развивать эту производственную отрасль и строить большее количество мусороперерабатывающих заводов по всей стране.

Некоторые виды ТКО, отходов производства и потребления можно рассматривать, как вторичное сырьё для строительства. Применение строительных элементов (блоков, бетона, арматуры), автомобильных покрышек, стеклянных и пластиковых ёмкостей при рациональном и экологичном подходе может значительно сократить объёмы производства нового сырья, энергию и уменьшить масштабы отходов, что является одной из главных целей «зелёного» строительства.

«Зелёное» строительство – это современная практика строительства, направленная на уменьшение использования энергетических и материальных ресурсов в течение всего периода существования объекта недвижимости (строительство, эксплуатация, утилизация) и стремление создать условия повышенного качества для комфорта обитателей внутри здания. На текущий момент «зелёное» строительство структурируется экологическими стандартами, способствующими ускоренному переходу от традиционного проектирования зданий к комфортному.

Вторичное сырьё – это изделия и материалы, которые после длительного использования и износа применяются повторно без преобразования или после производственной обработки сырья. Номенклатура вторичного сырья, установленная ГОСТ Р 54099–2010: вторичное древесное сырьё, вторичное пищевое сырьё, вторичное полимерное сырьё, вторичное строительное сырьё, вторичное текстильное сырьё, макулатура.

При использовании для строительства нескольких видов отходов и вторсырья стоимость построек может быть существенно снижена, например, достаточно аккуратно разобрать старые строения и дать изделию «вторую жизнь».

Строительные материалы на основе вторичного сырья можно классифицировать по следующим категориям:

- *Неперерабатываемое мелкогабаритное вторичное сырьё.*

Возможным строительным материалом могут стать автомобильные покрышки, известны примеры их использования для фундаментов и стен. Каждую из шин при этом заполняют землей, укладывают друг на друга в шахматном порядке, а пространство между ними плотно заполняют смесью из воды, цемента и земли.

Распространённым сырьём для строительства без дополнительной переработки являются пластиковые и стеклянные ёмкости. Прозрачные бутылки улучшают освещённость помещений, позволяя экономить энергию, а воздушная прослойка внутри них служит хорошим теплоизолятором, благодаря чему комфортная температура достигается с меньшими затратами.

Заполненные теплупучим материалом (песком или грунтом) пустые бутылки становятся эффективным «кладочным элементом». Процесс возведения

стенowych конструкций предусматривает установку опорных столбов (из кирпича, дерева, металла) толщиной, равной высоте используемых бутылок. Для герметизации отверстий используется цементно-песчаный раствор.

• *Перерабатываемое вторичное сырьё.*

Переработанные материалы являются наиболее распространённым типом изделий. К одному из вариантов переработанного сырья можно отнести термополикамень, сделанный из измельчённых в крошку проводов, микросхем, телевизоров, магнитофонов и телефонов. Материал – водоустойчивый и не поддаётся гниению, не обладает специфическим запахом. Для безопасности здоровья при производстве строительных блоков применяется только нетоксичное вторичное сырьё.

В европейских компаниях практикуется использование золы после сжигания остатков продукции деревообработки для строительства дорог и удобрения лесов.

В России развито производство шлакопортландцемента и заполнителей, крупных и мелких, на основе шлаков. Добавление шлака в цементный клинкер и производство заполнителей на шлаках обеспечивает повышенную прочность, снижает вес, уменьшает давление на грунт, повышает теплотехнические характеристики и пожаростойкость. Наиболее существенно то, что на 20...30% снижается стоимость конструкций, т.е. каждый шестой дом строится бесплатно. Шлака в шлакопортландцементе может быть до 50%, и добавлять его в цемент можно на домостроительных комбинатах. При этом не потребуется открывать новые карьеры по изъятию известняка, глины для цемента, гравия и щебня как заполнителей для бетона, поскольку в настоящее время в России цемент делается практически из чистого клинкера. Есть практика изготовления керамзита из шлама очистных сооружений.

Российскими и зарубежными учёными много лет проводятся опыты о влиянии различных типов и количества дополнительных вяжущих материалов и заполнителя из переработанного бетона на повышение прочности и долговечности материала. Сырьё может включать опасные отходы, летучую золу, формовочный песок и не перерабатываемые стеклянные бутылки. Исследователями рассматриваются различные бетонные смеси, которые могут быть использованы при экологичном строительстве зданий.

Уже сегодня российские компании из полимерных отходов (полиэтилена, поливинилхлорида, полистирола, полипропилена) производят следующие виды изделий: тротуарную, тактильную, облицовочную плитку; ограничители парковки, дорожные столбики; стеновой и бордюрный камень; газонные, дренажные георешётки; крышки люков, кольца колодцев, водоотводные лотки; стеновые блоки; перегородочные плиты; матричные композиты с полимерными включениями (полистиролбетон, гипсополистиролбетон, гипсополипластбетон); измельчённые полимерные отходы применяются для бетона повышенной ударной прочности, бетонов повышенной коррозионной стойкости; полимерные композиты на основе отходов полистирола (PS) (органо-

растворимые лакокрасочные материалы, прессованные полимерные композиты на основе отходов PS, теплоизоляционные полимерные композиты на основе растворов полистирола) и т.п.

- *Прессованное вторичное сырьё.*

В качестве прессованных отходов возможно использовать бумагу, солому и другое растительное сырьё. При строительстве деревянный каркас обкладывается по всему периметру блоками, являющимися основой для стен и эффективным утеплителем. При возведении стен из соломенных блоков для повышения их прочности и огнестойкости на поверхность блоков внутри и снаружи наносится три слоя штукатурки.

Низкая стоимость, небольшие трудовые затраты, лёгкость стеновых конструкций, не требующих мощного фундамента, – основные преимущества данного вида строительства.

- *Неперерабатываемое крупногабаритное вторичное сырьё.*

К крупногабаритным отходам относят некоторые виды строительных элементов (блоки, камни), сборные строительные элементы (трубы, балки), серийные изделия (панели, фермы и т.п.).

Возможным материалом для строительства могут стать использованные транспортные контейнеры, обладающие прочностью и устойчивостью к воздействию агрессивной среды. Для уменьшения нагрева и улучшения теплоизоляции металлических элементов следует применять дополнительную изоляцию.

Для строительства также используют вышедшие из строя силосы из оцинкованной стали (бункеры для хранения) с плоским или аэрационным дном с обязательным устройством внутренней вентиляции. Высота 9 м позволяет использовать их в качестве двух- или трёхэтажного жилья.

Выделим возможные технологии строительства из вторичного сырья:

- кладка из блоков, камней и других элементов, уложенных в определённом порядке и связанных строительным раствором (покрышки, бутылки, прессованные блоки, камни и кирпич повторного использования);
- каркасное строительство из дерева или металла с заполнителем стен блоками из непереработанных вторичных элементов или прессованных отходов;
- модульное строительство с использованием крупногабаритных отходов (к примеру, железобетонных труб), транспортных контейнеров, бункеров для хранения, корпусов самолётов.

Для сооружений из отходов наиболее экономичным и экологичным способом является строительство с применением бутылок и крышек в качестве кладочных блоков. Этот способ возведения зданий имеет ряд преимуществ: ускоряет процесс строительства; не подразумевает использование дополнительных опор, помогая значительно снизить применение традицион-

ного сырья; данная технология обеспечивает теплоизоляцию и теплоёмкость, что способствует снижению расходов на отопление здания.

Сегодня широкий выбор материалов повторного применения на основе вторичного сырья даёт возможность удешевить строительство и уменьшить негативное влияние на окружающую среду.

10.2. СТРОИТЕЛЬСТВО НА ПОЙМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Стоит отметить, что за последние десятилетия запроектировано множество зданий и комплексов на затопляемых и заболоченных территориях, где применяются передовые подходы, подразумевающие сохранение природной среды, использование новых типологий зданий, применение сложных инженерно-технических решений. Проблема в том, что подавляющее большинство такого рода проектов осталось на бумаге.

С другой стороны, в отечественной практике укоренилось два основных направления освоения пойменных территорий. В случае включения их в резерв природных ресурсов, они используются как рекреационные зоны; в случае, когда они не представляют природной ценности, освоение под капитальное строительство происходит путём намыва. Оба эти направления, хотя и показали свою эффективность в течение многих десятилетий, не связаны с архитектурно-градостроительной наукой. С развитием инженерной науки и техники метод намыва становится далеко не единственным методом инженерного освоения пойменных территорий. Кроме того, он также обладает рядом недостатков: является дорогостоящим способом экстенсивного освоения территорий; губительным в плане экологического равновесия, негативно влияющим на сохранение флоры и фауны региона; не стимулирует поиск инновационных инженерно-технических мероприятий; невнимателен к эстетической и архитектурной ценности среды пойменных территорий. Другими словами, применяемые инженерные мероприятия направлены исключительно на защиту территорий от затопления и подтопления, игнорируя необходимость организации взаимосвязи между городом и водоёмом, сохранение рекреационных преимуществ пойменных территорий. В какой-то степени эту проблему восполняла традиция создания набережных как речного фасада города, но подъём их уровня до незатопляемой отметки с помощью дамб препятствовал непосредственному контакту жителей с водоёмом.

В целом можно выделить следующие направления проектирования на затопляемых территориях в России:

- жилые районы на намывных территориях на морском побережье крупных городов;
- жилые районы на намывных территориях, ранее пойменных или заболоченных, вблизи центра города;
- общественные комплексы с развитой водной инфраструктурой на берегу реки или моря (яхт-клуб, гостиничный комплекс, спортивный

центр и т.д.). Чаще всего такие комплексы располагаются на коренном берегу и не требуют намыва, но прилегающие береговые низменности благоустраиваются для доступа к воде и под рекреационные зоны (пляжи, причалы, набережные);

– частные «дома на воде» на берегу водоёма. К этой категории можно отнести довольно широкий спектр одно- и трёхэтажных домов рекреационной функции: дома для летнего отдыха в структуре турбаз, частные коттеджи на берегу, бани и летние дома на понтонах и т.д. вплоть до дебаркадеров.

При возведении здания на воде первостепенным является выбор конструктивной системы, благодаря которой здание способно удерживаться на плаву и противостоять агрессивной среде водоёма. В настоящее время можно выделить пять основных конструктивных систем домов на воде: хаусбот, дебаркадер, дом-амфибия, дом на сваях, дом на плавучем основании.

Хаусбот (с англ. *house* – дом, *boat* – лодка, катер, корабль) сочетает в себе одновременно качества катера – плавучесть, мобильность, обтекаемость, наличие двигателя, и качества дома: наличие комфортного пространства для жизнедеятельности. Данная типология очень близка к современным комфортабельным яхтам и распространена в России в основном за счёт импорта из США, также хаусботы с 2012 г. собираются по американской технологии «Thoroughbred Houseboats» в Саратове и других городах.

Дебаркадер (*debarcadere, debarquer* – выгружать, высаживать) – здание на воде, состоящее из плавучего основания и надстройки. В современном русском языке слово «дебаркадер» означает плавучую пристань, а также специально оборудованное судно или понтон для причаливания судов. Дебаркадер отличается от хаусбота более крупными габаритами, меньшей мобильностью и отсутствием двигателя: передвигаются за счёт буксировки.

В России типология дебаркадера берёт начало от дореволюционных судов, выполнявших различные функции, связанные с речными промыслами: «конторские избы», коноводные машины, баржи, первые пароходы. Сейчас на реках волжского бассейна пришвартовано множество дебаркадеров различного типа и назначения – от речных пристаней до ультрасовременных жилищ. Большинство из них было построено в 1960 – 1980-х гг. и нуждается в реставрации.

Дома-амфибии и дома на сваях не распространены в России, так как не приспособлены к большим колебаниям уровня воды (паводки и половодья с подъёмом уровня воды выше 2 м) и жёстко связаны с дном водоёма или берегом – сваями или швартовочными столбами.

Дома-амфибии отличаются от плавучих домов наличием швартовочных столбов, по которым они перемещаются вверх и вниз во время колебания уровня воды. Отличительной чертой также является понтон-амфибия. Он обладает повышенными прочностными характеристиками и более компактными размерами (зачастую скрыт под землёй), так как опирается непо-

средственно на землю, когда уровень воды низкий. Когда вода прибывает, понтон удерживает его на плаву.

Сваи применяются, когда дом размещён на берегу или нависает над водой, но широкое распространение в России они не получили ввиду сложности монтажа конструкций и ограничений на строительство в береговой зоне. Чаще всего применяются для дачных домов и дач, размещённых вблизи водоёмов и подверженных периодическому затоплению.

Дома на понтонном основании или плавучие дома, набирающие популярность за рубежом, в России встречаются редко. Отличительная черта этой типологии – понтонное основание, выполненное из металла, пластика или бетона, на котором размещается полноценный каркасный дом. Этот тип зданий даёт максимальное погружение в природную среду, так как расположен непосредственно на воде и связан с берегом через пирс или мостки, а иногда совсем отрезан от берега. При этом дом стационарный, так как требует швартовки на весь период отдыха, перемещать его возможно с помощью буксировки.

Эти объекты дают представление об одном из аспектов освоения пойменных территорий – частном домостроении. По сравнению с американским и европейским опытом сооружения конструкций на воде, в России оно только начинает развиваться, но исследование состояния вопроса свидетельствует о его актуальности. Об актуальности частного строительства на воде в России говорят следующие факторы:

- наличие большого количества затопляемых и заболоченных территорий в непосредственной близости к центру города, пригодных для освоения;
- высокие экологические и эстетические качества ландшафта рек России и прилегающих территорий;
- популярность жизни за городом, в природной среде, особенно вблизи водоёма;
- развитие архитектурной и строительной науки, способствующее реализации проектов на воде.

В качестве основных факторов, препятствующих развитию частного домостроения на воде, можно выделить следующие:

- отсутствие нормативной и законодательной базы, регламентирующей освоение береговых территорий и акваторий;
- сложность и высокая стоимость реализации сложных инженерно-технических решений ввиду отсутствия необходимых материалов и специалистов;
- недоверие к жизни на воде со стороны потенциальных заказчиков, вызванное агрессивным характером стихии (опасность затопления, постоянная влажность, достаточно экстремальные условия в осенне-весенний период).

Таким образом, для развития строительства на воде необходимо в первую очередь ввести законодательную и нормативную базу, регламентирующую освоение пойменных территорий и акваторий, внедрять новые эффективные и технологичные материалы и конструкции, за счёт которых появится возможность удешевить производство, повысить надёжность, безопасность и комфорт зданий на воде. В конечном итоге освоение находящихся ныне в упадке пойменных и береговых территорий пойдёт на пользу в первую очередь самому городу и горожанам. В городе применение типологии зданий на воде даст возможность расширить плотно застроенные территории центра, городская периферия получит новый, уникальный тип зданий в природной среде.

10.3. ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБЪЕКТОВ

При возведении зданий и подземных сооружений в черте современного города чаще всего не удаётся проводить работы таким образом, чтобы совсем не оказывать влияния на дома, находящиеся в непосредственной близости от нового строительства. В результате работ по устройству котлованов и последующему монтажу несущих конструкций подземных сооружений существующие дома могут претерпевать неравномерные осадки. В их стенах появляются трещины или происходят нарушения эксплуатационной пригодности отдельных конструктивных элементов. Перед проектировщиком всегда стоит задача определения габаритов так называемой «зоны влияния строительства» – такого участка, на котором могут происходить какие-либо негативные процессы, вызванные ведущимися строительными работами. Для обеспечения безопасности существующих зданий и сооружений всегда возникает необходимость достоверного прогноза дополнительных деформаций существующих зданий и сооружений. Если эти прогнозируемые дополнительные деформации представляют угрозу для нормальной эксплуатации зданий, проектировщику необходимо разработать комплекс специальных мероприятий, позволяющих защитить фундаменты и основные несущие конструкции существующих домов, а если избежать негативного влияния не удаётся, поставить вопрос о пересмотре концепции нового строительства.

Возникновение дополнительных осадок существующих зданий и сооружений в условиях ведения рядом с ними нового строительства может быть связано с большим количеством причин. Можно выделить несколько типов дополнительных осадок существующих зданий:

– осадки, связанные с изменением напряжённо-деформированного состояния грунтового массива, вызванного новым строительством. Осадки указанного типа в большинстве случаев могут быть достоверно определены на основании численного моделирования по специализированным геотехническим программам;

– осадки, связанные с температурными воздействиями в процессе устройства новых подземных сооружений. Они обычно проявляются в температурных деформациях распорок и ограждающих конструкций котлована, что вызывает дополнительные перемещения прилегающего грунтового массива. При проведении расчётов обычно учитываются силы морозного пучения от промерзания грунта, взаимодействующего с подземным сооружением. Осадки указанного типа могут определяться на основании численного моделирования при проведении специальных теплотехнических и деформационных расчётов;

– осадки, связанные с устройством ограждающих конструкций котлованов или грунтовых анкеров, усилением существующих зданий в потенциальной зоне влияния строительства. Осадки указанного типа не могут быть в большинстве случаев определены численными методами. Прогноз возможен на основании обобщения данных мониторинга с использованием какой-либо технологии на объектах-аналогах, находящихся в сходных инженерно-геологических условиях;

– осадки, связанные с частичной разборкой здания или примыкающих зданий и сооружений. Указанный тип осадок во многом зависит от случайных факторов, например наличия общих стен и перекрытий сносимого и оставляемого здания. Данные мониторинга для прогноза осадок указанного типа мало информативны;

– осадки, связанные с изменением гидрогеологической ситуации в процессе строительства. В большинстве случаев их возникновение связано со строительным водопонижением или с проявлением барражного эффекта в период после окончания строительства. Прогноз указанных осадок осуществляется на основании прогноза изменения гидрогеологической ситуации в ходе строительства, а также на основании расчётов по специализированным геотехническим программам. Осадки указанного типа могут прогнозироваться с достаточной долей достоверности;

– осадки, связанные с нарушениями в последовательности производства или в технологии выполняемых работ. Ошибки указанного типа не могут быть спрогнозированы, но могут быть предотвращены. В большинстве случаев предотвращение осадок указанного типа возлагается на авторский надзор, технический надзор Заказчика, а также на фирмы, осуществляющие мониторинг и научно-техническое сопровождение строительства;

– осадки, связанные с ударными или динамическими воздействиями. Могут прогнозироваться на основании данных численного моделирования и опытно-исследовательских работ, выполняемых непосредственно на строительной площадке;

– осадки, связанные с длительными процессами в прилегающем грунтовым массиве, природа которых часто не может быть достоверно выявлена. К осадкам данной категории можно отнести осадочные процессы, связанные с утечками воды из подземных коммуникаций, суффозионные и карстовые

процессы, «вековые» осадки и т.д. Осадки указанного типа могут прогнозироваться на основании длительных наблюдений за состоянием грунтового массива, изменением уровня грунтовых вод и геодезическими наблюдениями за существующими зданиями.

Таким образом, существует значительное количество возможных причин появления дополнительных деформаций существующих зданий при ведении в непосредственной близости от них нового строительства. Хорошо известно выражение: «Предупрежден – значит вооружён». Зная причины негативного влияния нового строительства на существующие здания, можно попытаться минимизировать их возможные деформации. Решение указанной задачи осуществляется путём численного моделирования влияния нового строительства на окружающую застройку, обобщения опыта строительства объектов-аналогов. Инженерный опыт, большая и кропотливая работа и немного везения – вот залог успеха при ведении строительства подземных сооружений в условиях тесной городской застройки. Предотвращение дополнительных деформаций не может быть достигнуто без тщательного контроля над всеми процессами на строительной площадке, ведением технического и научного сопровождения строительства. Минимизация влияния нового строительства также может быть осуществлена путём выполнения усиления фундаментов зданий окружающей застройки или их несущих конструкций.

10.4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГРУНТОВ, ГРУНТОВЫХ ВОД И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Одним из главных факторов загрязнения окружающей среды является строительство. Ведь оно оказывает колоссальное воздействие на атмосферу, гидросферу и литосферу. Чтобы изучить вопрос более детально, ознакомимся с основными факторами негативного влияния строительства на окружающую среду.

Ни одна стройка не обходится без использования различной техники, машин и механизмов, но ведь из-за их эксплуатации происходит выброс токсичных выхлопных газов, что существенно ухудшает состояние воздушного бассейна. Такое разрушительное воздействие на атмосферу, конечно же, оказывают и другие процессы, происходящие на строительной площадке, такие как распыление сыпучих загрязняющих веществ, цемента, извести и пр., сжигания различных отходов и остатков строительных материалов, сброса отходов с этажей, без применения закрытых лотков и других накопителей, приготовления различных изоляционных материалов и т.д. Помимо этого, очень активным источником загрязнения атмосферы является процесс приготовления асфальтобетона. При его изготовлении в атмосферу выделяется не только пыль, но и сажа, смолистые вещества, оксиды углерода, серы, а также радионуклиды и тяжёлые металлы, влияющие на состояние окружающей среды самым негативным образом.

Теперь рассмотрим влияние строительства на водную оболочку Земли – гидросферу. Среди наиболее водоёмких производств в промышленности можно выделить заводы железобетонных изделий и конструкций, цементные заводы, предприятия, производящие гипсолитовые и керамические изделия, цемент мокрым способом. Большое количество воды идёт для закрепления и уплотнения грунта в строительных целях. Так же на состояние водных экосистем негативно влияет и загрязнённый поверхностный сток на территории стройки. Огромный урон экологическому состоянию поверхностной гидросферы оказывают строительство подводных и других гидротехнических сооружений, разработка прибрежных карьеров стройматериалов, которые вызывают изменение гидрологического режима рек. Сточные воды предприятий стройиндустрии, загрязнённый сток со стройплощадок и временных складов стройматериалов являются одним из основных факторов загрязнения гидросферы. Помимо загрязнения, строительная деятельность может вызывать и истощение подземных вод. Это может произойти в ходе строительных работ при осушении карьеров, тоннелей, глубоких строительных выемок и котлованов.

Какие же меры можно предпринять для того, чтобы снизить негативное воздействие на гидросферу? Прежде всего можно уменьшить объём сточных вод, сбрасываемых предприятиями стройиндустрии за счёт организации малоотходных и безотходных технологий, внедрить системы замкнутого оборотного водоснабжения, осуществлять принудительную очистку сточных производственных вод, предусматривать ограждения с отводом поверхностных вод по системе лотков в отстойники с последующей их очисткой, для предотвращения выноса загрязняющих веществ с территории строек должны производиться регулярная уборка территории, организация специальных мест стоянок и мест заправки строительных машин и механизмов, упорядоченное складирование стройматериалов, контроль за расходом вод для различных нужд промышленно-строительного процесса и т.д. Всё это поможет уменьшить отрицательное влияние на гидросферу.

И наконец, рассмотрим то, как влияет строительство на литосферу. К основным источникам загрязнения почвы можно отнести захламливание территории строек, в этом случае резко снижается биопродуктивность земель, почва и подземные воды загрязняются на долгие годы, так же почвы могут сильно загрязняться сверху вследствие газопылевых выбросов, а при покрытии почвы асфальтом и цементными плитами происходит её запечатывание и эрозия.

Но если же осуществлять такие действия, как механическое удаление загрязнителей вместе с породой и вывоз их в места складирования, удаление загрязнителей фильтрующим потоком жидкости, создание экрана из обожжённых грунтов, аэродинамическое воздействие для удаления газообразных экотоксикантов, можно предотвратить возможный катастрофический урон для литосферы. Так же для очистки загрязнённых грунтов от тяжёлых метал-

лов, нитратов, фенолов, радионуклидов и т.п. успешно применяют электрохимические способы, в основе которых лежит воздействие на них постоянным электрическим током. Для химических способов очистки используются химические реакции между загрязнителями и вводимыми в грунт смолами, жидким стеклом, битумами и др. В результате создаются защитные экраны-барьеры для тех или иных загрязнителей. Очень эффективны биологические способы очистки, которые основаны на поглощении загрязнителей микроорганизмами, растениями, грибами и т.п.

10.5. МОДЕРНИЗАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗДАНИЙ

Согласно проведённым исследованиям, проблемы обеспечения жильём населения РФ, улучшения качества жилищных условий, формирования городской среды, наиболее полно отвечающей запросам современного человека и общества, начиная с 20-х годов прошлого века всегда оставались значимыми. В современной России они не утратил былую актуальность.

Отсутствие должного технического обслуживания жилищного фонда приводит к преждевременному износу строительных конструкций, что соответственно ведёт к снижению нормативного срока службы здания. Это приводит к удорожанию стоимости капитальных ремонтов и увеличению расходов на эксплуатацию жилья. С увеличением срока эксплуатации жилья растут расходы на его содержание. Таким образом, при обосновании решения о дальнейшей эксплуатации здания необходимо проанализировать множество факторов, определяющих его ценность.

Реконструкция и модернизация жилищного фонда являются одним из важнейших направлений в решении жилищной проблемы и реформе жилищно-коммунального хозяйства страны и представляют собой комплекс строительных мер и организационно-технологических мероприятий, направленных на обновление жилых домов и инженерной инфраструктуры в целях сохранения жилищного фонда и улучшения условий проживания, приведения их эксплуатационных качеств в соответствии с установленными требованиями.

Наибольшую значимость представляют жилые дома первых массовых серий, общая площадь которых составляет около 250 млн м². Ориентация на массовый снос жилых зданий первых серий не является приоритетной для регионов РФ, так как более поздние постройки при высокой степени морального износа обладают достаточными физико-механическими характеристиками и эксплуатационной надёжностью, легко восстанавливаемой современными средствами и технологиями.

Данную проблему можно было бы решить несколькими способами.

В условиях перехода экономики страны на рыночные отношения реконструкция жилищного фонда рассматривается как наиболее рациональный путь использования ограниченных финансовых ресурсов для решения жилищного вопроса. Реконструкция позволяет не только сохранить имеющийся жилищный фонд, но и существенно (на 40...70%) увеличить его

размеры за счёт надстройки домов и пристройки к ним дополнительных объёмов.

При реконструкции жилых домов часто применяется двухэтажная надстройка здания. Надстройка зданий является наиболее эффективным приёмом расширенного воспроизводства жилищного фонда, поскольку она не требует увеличения земельного участка и позволяет реализовать все запасы несущей способности конструкции здания. Именно поэтому надстройка была одним из основных приёмов наращивания жилищного фонда крупных городов в 1920 – 30-е годы и в послевоенный период.

В Москве в 1920 – 30-е годы за счёт увеличения этажности жилых домов дореволюционной постройки общие площади в пределах Садового кольца выросли на 8,7%, одновременно улучшилось инженерное обустройство надстроенных зданий. В большинстве случаев надстройка выполнялась с учётом архитектурно-художественного решения здания и не приводила к ухудшению его внешнего вида.

Здания постройки до 1950-х годов имеют достаточно высокий запас несущей способности, что позволяет осуществить надстройку несколькими этажами. В ряде случаев требуется усиление фундаментов, что в целом несущественно повышает себестоимость дополнительных площадей. Главной задачей организации надстройки здания является обеспечение безопасности работ. Возможно применение сборки каркаса надстройки здания из отдельных отправочных марок, а также использование рамной конструкции с шарнирными связями, кровельными балками и ригелями. В начале работ по организации надстройки здания производятся установка грузоподъёмного оборудования, организация зоны складирования материала. Отдельные бригады производят монтирование временного оборудования для водоснабжения и электроснабжения.

Такая надстройка здания производится по рамно-каркасной системе, при этом площадь надстройки составляет примерно 30% от начальной площади. Такая конструкция надстройки здания позволяет получить возможность планировки квартир разной площади, а также размещения их в одном или двух уровнях. Главной задачей организации надстройки здания является обеспечение безопасности работ. Возможно применение сборки каркаса надстройки здания из отдельных отправочных марок, а также использование рамной конструкции с шарнирными связями, кровельными балками и ригелями. В настоящее время большую популярность получили надстройки зданий этажами, которые опираются на автономные опорные конструкции, а также эркеры-ризалиты.

Принятию решения по надстройке должно предшествовать детальное обследование оснований, фундаментов, размеров и прочностных характеристик кладки стен. Также используется такой метод, как встроенная система из сборного каркаса. Данный способ реконструкции базируется на использовании сборных железобетонных изделий заводского производства. Он впервые предложен и апробирован Матвеевым Е. П. при реконструкции

4–5-этажных жилых домов в Москве. За период до 1994 года по этой технологии было реконструировано более десяти 4–5-этажных зданий постройки 1930-х годов с надстройкой на два этажа.

Принципиальное решение способа встроенного каркаса распространяется на здания, имеющие в плане прямоугольную или близкую к ней форму. Используются конструктивные схемы с полным и неполным встроенными каркасами. Полный встроенный каркас позволяет исключить из работы ограждающие конструкции стен, что создаёт предпосылки выполнения реконструктивных работ не только с полной перепланировкой, но и надстройкой несколькими этажами.

При использовании схемы неполного каркаса, когда нагрузка от ригелей передаётся на стеновые конструкции, возможность надстройки ограничивается несущей способностью стен. Использование полного каркаса является более технологичным по сравнению с традиционными методами замены перекрытий, так как существенно снижается объём работ по устройству гнёзд опирания, в меньшей степени ослабляется несущая способность стен, а в результате использования плит перекрытий различной длины обеспечивается возможность получения помещений с гибкой планировкой.

Полный встроенный каркас применяют при средней степени износа наружных стен и в случае надстройки здания несколькими этажами. При этом шаг расположения колонн согласуется с шагом оконных проёмов и принимается кратным им. Использование полного встроенного каркаса позволяет превратить наружные стены в самонесущие, исключить комплекс работ по их усилению. Такое решение не ограничивает этажность надстройки, что в ряде случаев является определяющим при реализации проекта реконструкции.

Базовыми элементами являются сборные железобетонные конструкции модернизированного каркаса серии 1.020-1/87: фундаменты, ригели, плиты перекрытия сплошного сечения или многопустотный настил, стеновые блоки и панели, колонны высотой на 1 – 3 этажа, лестничные марши и площадки, сантехкабины, вентиляционные блоки, секции мусоропроводов, лифтовых шахт и др.

Для снижения себестоимости производства работ из-за широкой номенклатуры сборных конструкций целесообразно использовать ригели и многопустотный настил, изготавливаемые по экструзионной технологии, с разрезкой на требуемые размеры. Повышение уровня монтажной технологичности может быть достигнуто путём увеличения шага колонн встроенной системы и применения плит большепролётного размера, использования многоэтажных колонн и стыковых без сварных соединений.

Усиление фундаментов существующих зданий применяется так же давно, как и само строительство. Методы и способы усиления до середины XX века были столь же традиционны, как и конструкции фундаментов. Изменения происходили лишь в части применяемых материалов и преследовали главную цель – наряду с восстановлением прочности кладки, увеличение площади опирания существующих фундаментов, снижение удельных

величин давления от сооружения на грунт и уменьшение величин осадок. Чаще всего такое усиление включает полную или частичную замену разрушенной кладки фундаментов, а также увеличение площади его опирания путём прикладки обойм или банкетов к телу существующего фундамента, а также устройство дополнительных фундаментов или опор рядом с существующими. Для лучшей связи с существующими фундаментами прикладка осуществляется «в перевязку» со старой кладкой. Опирание прикладок на грунты основания могло быть осуществлено на разных уровнях относительно подошвы усиливаемого фундамента, выше ее, на одном уровне, а нередко, при низком уровне грунтовых вод и ниже подошвы существующих фундаментов. Как правило, прикладки выполнялись из естественного камня, аналогично материалу усиливаемого фундамента. Прикладки могли также опираться на забитые рядом с существующим фундаментом деревянные сваи. В конце XIX века с внедрением в строительную практику цемента, обоймы и банкетки начали выполнять из бутобетона, бетона и затем железобетона, в основном монолитными, но в последние годы, иногда и сборно-монолитными. Кроме обойм и банкетов, применяется также введение ниже подошвы усиливаемых фундаментов железобетонных плит и балок (лежней).

Можно реконструировать жилые здания с пристройкой объектов. Данный вид реконструкции предусматривает уплотнение городской застройки, более рациональное использование подземного пространства, получение дополнительных площадей с минимальными затратами на устройство сетей и благоустройство территории. Пристройка может осуществляться в общем цикле с реконструкцией существующего здания, а также индивидуально, когда состояние постройки отвечает нормативным требованиям по эксплуатационной надёжности.

Функционально различные виды пристроек имеют, как правило, нежилое назначение первых и заглублённых этажей или полностью отводятся под административные или торгово-хозяйственные цели. В зависимости от площади пристройки заглублённая часть может использоваться в качестве автостоянок, бассейнов, тренировочных залов, а также производственных помещений малых предприятий.

Наиболее рациональным является размещение пристройки к торцевым частям зданий. Это позволяет существенно уменьшить объём работ по усилению фундаментов.

В зависимости от конкретных городских условий и градостроительных целей формы пристроек могут быть достаточно разнообразны. Как правило, при возведении пристроек максимально используются заглублённые этажи и прилегающие площади. Поэтому при их возведении используют технологии, обеспечивающие ограждение котлованов буроинъекционными сваями, методами «стена в грунте», «секущих свай», укрепление основания под фундаментами грунтоцементными сваями или массивами.

Теснотность строительных площадок требует использования высоко-механизированных технологий, специального грузоподъёмного оборудова-

ния и инвентаря. Среди инженерных задач, которые приходилось решать человечеству, есть такие, что вызывают в душе нечто вроде священного трепета. Перенесение зданий с места на место явно из таких. В самой идее оторвать дом от матушки земли уже ощущается что-то противоестественное и безвозвратное. Первым делом необходимо каким-то образом отделить дом от основания. Для этого вокруг здания отрывают траншею, а затем отрезают его от фундамента. В практике московских и зарубежных передвижений в качестве режущего инструмента использовались металлические тросы. Разумеется, на этом этапе здание никуда не поедет: достаточно слегка сдвинуть его с места – и оно начнёт разрушаться. Прежде чем путешествие начнётся, кирпич, камень или дерево придётся скрепить.

Первый шаг – укрепление здания так называемыми поясными балками. Другой вариант – опоясывание дома бетонным монолитом. Следующий шаг – сооружение мощной металлической рамы, на которой здание и отправится в путь.

Наружные и внутренние стены, которые окажутся перпендикулярными к направлению движения, наиболее уязвимы, поэтому их требуется укрепить особо. В стенах проделывают продольные борозды (штрабы), куда вмуровывают мощные железные балки в виде двутавра. Эти укрепляющие конструкции называются рандбалками. Ниже рандбалок в стенах пробивают проёмы для рельсовых путей (они пойдут перпендикулярно рандбалкам). На проложенные рельсовые пути устанавливают катки, а на них – так называемые ходовые балки. Над ходовыми балками размещают балки поперечные, которые жёстко скрепляются с рандбалками, но ходовых пока не касаются. Так опорная рама обретает свой окончательный вид. Наконец, в оставшийся просвет между ходовыми и поперечными балками вбивают металлические клинья. В этот момент вес здания переносят с фундамента на катки, поставленные на рельсы. Осталось разобрать участки кладки между просветами для рельсовых путей, и дом можно катить. Собственно, описанная технология – это лишь один из вариантов.

Конечно, описанная технология трудоёмкая и многозатратная, но как путь решения проблемы достойна рассмотрения.

Реконструкция зданий и сооружений является сложной многоплановой проблемой. Её решение в каждом конкретном случае требует учёта социальных, экономических, эстетических, технических и ресурсных аспектов. Объёмы реконструкции будут и дальше возрастать, что в первую очередь обусловлено дефицитом земли, ресурсов, недостаточно эффективным использованием эксплуатируемых площадей в производственной сфере, повышением требований к комфортности жилья и др.

11.1. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Тонкостенные пространственные конструкции представляют собой системы, образуемые оболочками (тонкими плитами) и контурными (бортовыми) элементами – диафрагмами – в виде балок, ферм, арок, брусьев, опорных колец и т.д.

Классификация расчётных элементов в строительной механике.

1. Стержень – прямолинейный объект, у которого один из размеров намного больше двух других. То есть два размера (b и h) находятся в пределах одного порядка, а третий (l) находится в пределах другого (большого) порядка: $b \ll l$ и $h \ll l$.

Мерой порядка в строительной механике обычно служит число 10: два размера (в данном случае b и h) имеют один порядок, если их отношение лежит в пределах $0,1 < b/h < 10,0$.

Основными характеристиками стержня являются его ось (геометрическая форма оси) и поперечное сечение (геометрические характеристики профиля).

Частным видом стержня является балка – прямолинейный стержень, работающий на поперечный изгиб.

2. Оболочка – объект, у которого один из размеров значительно меньше двух других. То есть два размера (b и l) находятся в пределах одного порядка, а третий (h) находится в пределах другого (меньшего) порядка: $b \ll l$ и $h \ll l$. В расчётной схеме оболочку представляют срединной поверхностью (поверхностью, расположенной посередине толщины) и толщиной.

Частным случаем оболочки являются пластина (плита) – оболочка, срединная поверхность которой представляет собой плоскость.

3. Трёхмерное тело (массив) – объект, у которого все три габарита соизмеримы, т.е. находятся в пределах одного порядка.

Существует ещё и четвёртый, особый, вид элемента – так называемый тонкостенный стержень.

В строительной механике тонкостенным стержнем называется брус призматической или цилиндрической формы, у которого все три измерения выражаются величинами разных порядков. Толщина стенок такого стержня значительно меньше размеров контура поперечного сечения, а размеры контура значительно меньше длины стержня.

Все тонкостенные стержни можно разделить на две категории:

1) стержни замкнутого (закрытого) профиля – квадратные, прямоугольные и круглые трубы;

2) стержни незамкнутого (открытого) профиля – швеллер, двутавр, тавр, уголковый профиль.

Тонкостенными считаются конструкции при отношении $t/R_{\min} \leq 1/20$, где t – толщина плиты оболочки; R_{\min} – меньший из радиусов кривизны.

Пространственные конструкции, обеспечивая гибкую планировку проектируемых объектов, больше всего ценятся при строительстве большепролётных (без промежуточных опор) гражданских и производственных зданий разного назначения. Опыт строительства пространственных покрытий в России и за рубежом свидетельствует об успешном применении при малых (до 24 м), средних (до 36 м) и больших пролётах (до 100 м и более).

Сгруппировать и подобрать универсальные признаки пространственных конструкций не представляется возможным. Конкретно можно говорить только о материале конструкций, геометрии и способе образования поверхности, конструктивных особенностях, пологости и крутизне, пролёте, способе опирания, очертании плана здания и т.д.

В зависимости от геометрического очертания и способа образования поверхностей различают следующие типы: большепролётные плиты-настилы, цилиндрические оболочки (одинарной или нулевой гауссовой кривизны), оболочки двоякой положительной и отрицательной гауссовой кривизны на прямоугольном плане, образованные из нескольких элементов пересекающихся поверхностей произвольной формы, оболочки вращения (купола), составные оболочки, волнистые своды, висячие оболочки, складки с различной формой поперечного сечения, воронкообразные оболочки, купола-многогранники шатрового типа.

Тонкостенные пространственные покрытия могут выполняться из железобетона, металла и пластмасс (в том числе и стеклопластик), армоцемента и древесины. Также применяют и комбинированные конструкции: железобетонные оболочки в сочетании со стальными диафрагмами и т.п.

Железобетонные покрытия могут быть монолитными и сборными. В России покрытия применяют в основном сборные, поскольку это более экономично примерно на 20...30% по сравнению с фермами, арками и рамами. Железобетонные покрытия долговечны и огнестойки.

Широкое применение и интерес представляют армоцементные конструкции (на мелком заполнителе с армированием тканевыми сетками) такие покрытия имеют толщину плиты 10...30 мм, это позволяет снизить собственный вес покрытия.

Пространственные конструкции из древесины и пластмасс отличаются разнообразием видов и конструктивных особенностей. Они привлекательны из-за малой материалоемкости, а при агрессивности среды – большей долговечности.

Тонкостенные конструкции из металла чаще всего выполняют в виде оболочки отрицательной кривизны и висячих покрытий.

Тонкостенные оболочки имеют малую жёсткость на изгиб в сравнении с жёсткостью против действия сил, развивающихся в срединной поверхности.

Поэтому при действии вертикальной равномерно распределённой нагрузки в значительной области оболочки наблюдается безмоментное напряжённое состояние. Изгибающие моменты возникают в местах примыкания оболочки к контурной конструкции, резкого или скачкообразного изменения нагрузки или кривизны поверхности, а также в зонах приложения местных (также сосредоточенных) нагрузок.

В настоящее время наиболее эффективной технологией строительства быстровозводимых сооружений является использование каркасной системы из лёгких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК), утеплителя, облицовочных листов и пароизоляционных плёнок, которая завоевывает в нашей стране всё новых и новых поклонников и активно внедряется на строительном рынке.

Однако лёгкость может заметно сказаться на несущей способности конструкции. Поэтому ЛСТК перед их внедрением в строительство должны быть подвергнуты тщательному анализу по несущей способности. Это актуально для незамкнутых тонкостенных профилей, таких как двутавр, зетовый, и особенно швеллеровый профили.

Представим сравнение зданий из двух типов строительных конструкций и материалов по основным критериям здорового жилища: деревянных и стальных тонкостенных (далее «дерево» и «ЛСТК»).

1. Экологическая чистота.

Дерево. Многие используемые высокотоксичные защитные средства технологически устарели и перестали соответствовать жёстким европейским стандартам.

Защитные средства на основе органических веществ позволяют избежать этих проблем, а значит, существенно снизить производственные затраты, повысить качество защиты материала от всех видов биоповреждения, снизить экологический риск. Активные органические вещества эффективно защищают древесину. Свойства и качества древесины при этом остаются на уровне экспортных стандартов.

ЛСТК. Неорганические и химически пассивные металл и другие сопутствующие материалы (утеплитель, внутренняя и наружная обшивки стен, отделка) утилизируются на 100%, не впитывают и не выделяют в воздух химикаты.

Дополнительным немаловажным преимуществом этих конструкций с точки зрения защиты экологии является возможность рециркуляции металлоконструкций неограниченное количество раз в будущем.

2. Долговечность.

Дерево. Щитовая и каркасная стены обычно рассчитаны на 20 – 30 лет, бревенчатая и брусчатая – на 30 – 40 при правильности соблюдения технологии строительства и качества обработки бруса.

ЛСТК. Стальные профили из горячеоцинкованной стали защищены от коррозии на протяжении всего срока службы здания.

3. *Огнестойкость.*

Дерево. Главный недостаток деревянного дома в том, что он горит – от 40 мин до 1 ч. И любой пожар предусматривает его полное уничтожение. Без обработки специальными составами дом сгорает за 15...30 мин.

Но существуют и специальные средства, действие которых направлено непосредственно на защиту от огня. Обработку необходимо периодически повторять.

ЛСТК. Согласно заключению по оценке огнестойкости и пожарной опасности ВНИИПО МЧС РФ, полученному на основе испытаний четырёх конструкций каркасного типа. ЛСТК имеют следующие пожарно-технические характеристики:

– несущая стена, мансардное покрытие R (несущая способность), E (целостность) 45 КО (45);

– межэтажное и чердачное перекрытие REI (теплоизолирующая способность) 45 КО (45)).

4. *Экономичность.*

Большинство дополнительных затрат на строительство деревянных домов связано с сооружением фундамента, отличающегося от фундамента для ЛСТК из-за разности весов; а также с подготовкой стен под внутреннюю отделку.

5. *Вес.*

Дерево. Масса 1 м² стены, сложенной из брёвен, составляет 110...130 кг при толщине бревен 220...260 мм.

ЛСТК. Масса 1 м² стены составляет 40...53 кг при толщине 154...204 мм.

6. *Теплосбережение.*

Дерево. Теплотехнический расчёт показывает, что деревянная стена толщиной 250 мм (наиболее распространённый габарит брёвен) не удовлетворяет действующим нормам и требует дополнительного утепления. При применении 50 мм утеплителя бревенчатая стена практически любой толщины отвечает требованиям к коэффициенту теплопередачи.

ЛСТК. Приведённое сопротивление теплопередаче термопанели шириной 175 мм превышает установленное нормами значение для Санкт-Петербурга (3,15) и составляет $R_o = 3,26 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$.

7. *Усадка.*

Дерево. Проблемы усадки решаются при использовании клеёного профилированного бруса, который приблизительно в три раза превышает цену оцилиндрованного бревна и других видов бруса.

ЛСТК. Применение ЛСТК обеспечивает абсолютное отсутствие какой-либо усадки в период строительства и эксплуатации.

8. *Стойкость к метеовоздействиям.*

Дерево. Глубокая вакуумная пропитка позволяет защитить от гниения древесный слой в 60...70 мм, а поверхностная антисептическая пропитка захватывает только 6...7 мм, которую необходимо повторять каждые 5–6 лет.

ЛСТК. Профили из горячеоцинкованной стали защищены от коррозии на протяжении всего срока службы здания.

9. *Стойкость к биосфере.*

Дерево. Для защиты древесины от микроорганизмов существуют антисептики, которые уничтожают грибы и насекомых или прекращают их деятельность. Рекомендуются раз в 3 года обновлять покрытие или после обработки поверхности деревозащитными материалами наносить сверху лак.

ЛСТК. Применяемые в ЛСТК компоненты не подвержены воздействию термитов, любых видов грибка и плесени, других организмов.

Главное преимущество каркасного строительства из ЛСТК – максимальная заводская готовность материалов и технология строительства, обеспеченная детальной документацией для сборки.

Пространственные конструкции фундаментов.

Разрабатывали и исследовали: Н. П. Курган (1963), Ф. Кандела (1963), А. Н. Тетиор, А. Г. Литвиненко (1975), А. Н. Тетиор (1988, 2010, 2012).

Фундаменты включают разного типа оболочки, мембраны, структуры. Они отличаются меньшей материалоемкостью по сравнению с отдельными и ленточными. Изменение конструкции фундаментов оболочек может влиять на форму эпюр контактного давления грунта и устраивать оболочку равнопрочной во всех сечениях.

Экспериментально установлена меридионально-кольцевая форма разрушения фундаментов с оболочкой.

Леденёв В. В. внедрил конические фундаменты – оболочки, состоящие из двух элементов: плиты и оболочки, при строительстве Курского кожевенного завода на намытом до 5 м песчаном основании.

Здесь же исследовали процесс упрочнения основания с помощью вдавливаемого в песок конуса с углом при вершине 30° и длиной 250 мм. Исследования проводили в течение года при постоянной влажности удельное сопротивление пенетрации ($R = E/h^2$, h – глубина погружения конуса) возрастало до 2 раз.

Экспериментальное исследование несущей способности, механизма деформирования и разрушения стен.

Причины и характер разрушения стен натуральных объектов автор изучал с 1970 г. На территориях Курской, Воронежской и Тамбовской областях. Лабораторные опыты с учениками проводились в ТГТУ с 2000 г. Исследовали модели стен при одно- и двухосном сжатии, сжатии со сдвигом, с начальными дефектами и повреждениями, с армированными и неармированными моделями, с разными граничными условиями. Результаты рассмотрены в монографии (2015) и в многочисленных статьях.

11.2. УЧЁТ ОТКАЗА НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Понятие безотказности жилого здания в целом как сложной технической системы шире, чем для его элементов и простых систем, способных находиться лишь в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном. Отказы отдельных ограждающих конструкций и технических устройств (кровли, межпанельных швов, полов и др.) обычно являются частичными отказами. Не приводя к прекращению функционирования объекта в целом, они снижают качество (уровень) функционирования и выходной эффект объекта. Такая адаптация жилого здания к комплексу внешних условий возникает благодаря наличию определённой избыточности – некоторому запасу технических характеристик, сверх минимально необходимых для выполнения заданных функций. Это связано с тем, что обеспечение локальных требований прочности и жёсткости звуко- и теплозащиты, пожарной безопасности и т.д. сопровождается возникновением обратных связей, определённым «перекрытием» отдельных функций конструкций и систем. В результате объективно возникают различные виды резервирования – нагрузочное, структурное, функциональное и временное.

Согласно действующим нормам событие, заключающееся в нарушении работоспособности, называется отказом; таким образом, под отказом понимают прекращение выполнения конструкциями заданных функций, а эти функции определяются с соответствующими допусками. При назначении нормативной надёжности несущих и ограждающих конструкций под отказом понимают техническое состояние элемента, предшествующее исчерпанию несущей способности или полной потери ограждающих функций.

Отказы можно классифицировать:

- в зависимости от причин возникновения: внутренние, вызванные недостатком конструкций; из-за внешних причин (перегрузки, изменение схем работы и нагрузки и т.п.);
- в зависимости от скорости их проявления: последовательные; постепенные; внезапные;
- в зависимости от диапазона отказов: частичные, связанные с отклонением характеристик от допускаемых пределов и не вызывающие полной утраты работоспособности; полные;
- по сочетанию предыдущих концепций: каталептические – внезапные и полные, с постепенным ухудшением параметров и характеристик;
- в зависимости от последствий: незначительные, не приводящие к ухудшению эксплуатационных характеристик; значительные; критические, приводящие к полному прекращению выполнения функций и появлению большого риска;
- в зависимости от срока эксплуатации: преждевременные (часто до монтажа); случайные, износосвые.

Последовательные постепенные отказы являются функцией времени, обусловленные главным образом старением материалов, накоплением внутренних напряжений и т.д. Внезапные отказы вызываются такими изменения-

ми параметров элемента, при которых его следует считать неработоспособным. Такие отказы появляются при перераспределении и суммировании в узлах нагрузок, действия дополнительных внешних нагрузок, их неучтённых сочетаний. При расчёте систем с учётом этих двух видов отказов ориентируются на следующие положения:

- постепенные отказы можно исключить, если учесть все возможные изменения характеристик и параметров во времени;
- внезапные отказы случайны, их нельзя полностью исключить или предсказать;
- постепенные и внезапные отказы взаимосвязаны и не являются независимыми.

Из последнего вытекает принцип возможно резервирования, широко применяемый в точном приборостроении.

При обследовании выясняется техническое состояние здания, т.е. состояние, заключающееся в нарушении исправности строительной конструкции или её части вследствие влияния внешних воздействий, превышающих уровни, установленные в нормативно-технической документации на конструкцию.

Техническое состояние – совокупность свойств здания или его элемента, подверженная изменению в процессе строительства, ремонта или эксплуатации, характеризуемая в определённый момент времени признаками, установленными технической документацией на это здание или его элемент. Признаками технического состояния могут быть качественные и(или) количественные характеристики его свойств: значения показателя надёжности или диагностического параметра. Основными параметрами для контроля технического состояния здания являются: общая и местная прочность конструкций; пространственная жёсткость здания, общая и местные деформации; влагонасыщение элементов конструкций; теплотехнические характеристики ограждающих конструкций; тепловой режим; коррозия металлических конструкций; воздухо- и влагонепроницаемость строительных конструкций и сопряжений; режимы работы санитарно-технических, электротехнических и других систем инженерного оборудования; загазованность и освещённость помещений и др. Фактические значения качественных и количественных характеристик определяют техническое состояние здания.

В отличие от простых систем, где имеются только два возможных состояния – нормальное эксплуатационное и отказ, в зданиях большая часть конструкций и элементов может иметь несколько состояний, соответствующих частичным отказам и неисправностям. В связи с этим иногда отказы классифицируют: частичный отказ узла или элемента, восстановление или усиление которого приводит к полному восстановлению надёжности сооружений; отказы наиболее ответственных элементов сооружений (оснований, фундаментов, колонн, ригелей и т.п.), приводящие к полному отказу всего

сооружения. Отказы второй группы могут быть внезапными. Усиление этих элементов нередко связано с большими объёмами выполняемых работ.

Таким образом, характеристики отказов должны отражать различные формы (категории) несущей способности здания или его частей. Допустимую вероятность отказа следует определять в зависимости от тяжести последствий. Обычно легче сконструировать изделие для мягких (благополучных) условий работы, чем для жёстких (предельных).

Специфика зданий как изделия состоит в невозможности создания облегчённых условий для работы дома в целом, хотя для отдельных узлов и элементов такая возможность имеется; в трудности (или невозможности для некоторых элементов) использования резервирования. В составных конструкциях отказ отдельного элемента может привести к отказу всей конструкции, хотя остальные элементы продолжают нормально функционировать. Например, увлажнение утеплителя трёхслойных стеновых панелей приводит к отсыреванию стен, нарушению температурного режима помещения, тогда как железобетонные элементы продолжают выполнять функции несущей части конструкции.

В связи с этим необходимо отметить, что современные методы расчётов (в частности, метод предельных состояний) сосредоточивают внимание на границах качества, хотя для многих характеристик (тепло-, звукоизоляция и др.) важно не только предельное состояние, но и распределение качества.

При проектировании сооружений из стальных тонкостенных конструкций важным этапом является определение напряжённо-деформированного состояния стержней, что в современном строительстве зачастую делается с помощью специализированных программных пакетов, основанных на методе конечных элементов.

Существуют следующие *способы расчёта тонкостенных стержневых систем методом конечных элементов*:

- Использование оболочечных конечных элементов.

При данном методе расчётная модель (например, тонкостенный профиль) разбивается на узлы, обладающие шестью степенями свободы, и конечные элементы. Соответственно, нагрузка сводится аналогично к шести компонентам для каждого из узлов. В результате составления общей матрицы жёсткости системы и решения глобальной системы дифференциальных уравнений выясняются перемещения по шести направлениям (степеням свободы) для каждого узла. Далее происходит переход от напряжённо-го состояния узлов к напряжениям внутри конечно-элементных пластин.

Основные недостатки данного метода: предлагаемые автором конечные элементы построены на основе аналитических решений для отдельных элементов, а некоторые коэффициенты при компонентах матриц жёсткости являются отношением гиперболических функций, знаменатель которых может быть близок нулю; к тому же данные конечные элементы неприменимы для расчёта тонкостенных стержней замкнутого и комбинированного профилей.

11.3. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ

Под прогрессирующим (лавинообразным) обрушением понимается распространение начального локального повреждения в виде цепной реакции от элемента к элементу, которое в конечном счёте приводит к обрушению всего сооружения или непропорционально большой его части. Причиной разрушения может быть любая из множества аварийных ситуаций, которые не рассматриваются в обычном проектировании. В то же время землетрясения, пожары, сильные ветры, включённые в строительные нормы, также не должны приводить к прогрессирующему обрушению.

Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий.

Специалисты разных стран сходятся во мнении, что устойчивость здания против прогрессирующего обрушения следует обеспечивать комплексом средств:

- превентивными мерами безопасности;
- рациональными конструктивно-планировочными решениями здания с учётом возможности возникновения аварийной ситуации;
- мерами, обеспечивающими неразрезность конструктивной системы здания;
- применением материалов и конструктивных решений, ограничивающих от возникновения в элементах конструкций и их соединениях пластических деформаций;
- мероприятиями, аналогичными защите зданий от сейсмических воздействий.

В Рекомендациях вопрос конструктивно-планировочных решений не рассмотрен. Нет единого алгоритма по проектированию зданий и сооружений, защищённых от прогрессирующего обрушения. Нет единой методики расчёта в программных комплексах. Практически отсутствуют опубликованные за последнее время в РФ статьи на тему живучести зданий. Практика проектирования свидетельствует об острой необходимости простых инженерных решений, не требующих детального анализа каждой конкретной конструкции.

В качестве способа, позволяющего защитить каркасные здания от обрушения без значительного увеличения расхода материалов, предлагается использование жёстких блоков (аутригерных этажей) по высоте здания. Колонны каркаса при этом следует рассчитывать не только на внецентренное сжатие при их нормальной работе, но и на растяжение, возникающее во время ЧС. В таком случае стены жёсткого блока начинают работать как балки-стенки, воспринимая усилия от растянутой колонны, а перекрытия этажей оказываются подвешенными. Такой подход позволяет значительно снизить объём разрушаемых конструкций

Предлагается следующий алгоритм расчёта конструкций на прогрессирующее обрушение (рис. 11.1).

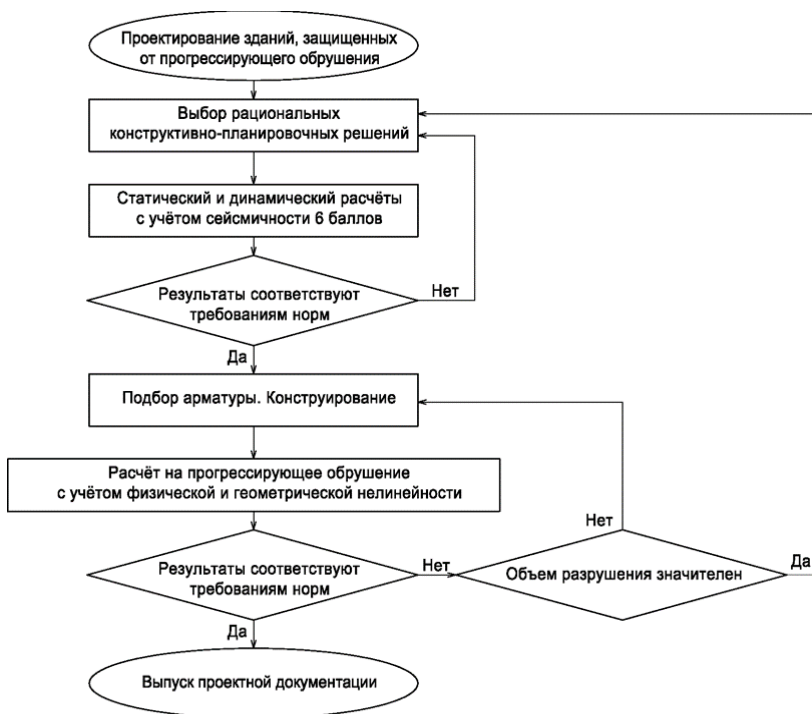


Рис. 11.1. Алгоритм расчёта конструкций на прогрессирующее обрушение

Рациональным конструктивно-планировочным решением здания с точки зрения предотвращения прогрессирующего обрушения является конструктивная система, обеспечивающая при выбывании отдельного (любого) вертикального несущего конструктивного элемента здания превращение конструкций над выбывшим элементом в «подвешенную» систему, способную передать нагрузки на сохранившиеся вертикальные конструкции.

Для создания такой конструктивной системы следует предусматривать:

- монолитное сопряжение конструкций перекрытий с железобетонными вертикальными конструкциями (колоннами, пилястрами, наружными и внутренними стенами, ограждениями лестничных клеток, вентиляционных шахт и т.д.);
- железобетонные монолитные пояса по периметру перекрытий, объединённые с конструкциями перекрытий и выполняющие функции надоконных перемычек;
- железобетонные монолитные парапеты, объединённые с конструкциями покрытия;
- железобетонные стенки в верхних этажах здания или железобетонные балки в покрытии;

- объединяющие колонны (пилястры) между собой и с другими вертикальными железобетонными конструкциями (стенами, ограждениями лестничных клеток, вентиляционных шахт и др.);
- проёмы в железобетонных стенах не на всю высоту этажа, оставляя, как правило, участки глухих стен над проёмами.

11.4. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УЧЁТА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

В настоящее время активно развивается сфера инновационных методов возведения малоэтажных зданий и сооружений. Связан данный процесс с тем, что сфера коммерческого строительства требует сегодня новых темпов возведения при ещё более высоких, нежели сейчас, показателях качества и экономичности.

Каркасные конструкции обладают высокой несущей способностью, малым весом, что позволяет возводить здания разного назначения и различной этажности с применением в качестве ограждающих конструкций широкого спектра материалов: более лёгких, менее прочных, но в то же время обеспечивающих основные требования по теплозащите, звуко- и шумоизоляции, огнестойкости. Это могут быть штучные материалы или панели (либо металлические типа «сэндвич», либо навесные железобетонные).

Наружные стены многоэтажных каркасных зданий посредством закладных деталей крепятся к несущим элементам каркаса или опираются на кромки дисков перекрытий. Крепление может осуществляться и посредством специальных кронштейнов, закрепляемых на каркасе.

Для возведения каркаса используются металл, дерево, железобетон, причём железобетонный каркас может быть как монолитный, так и сборный. Наиболее часто используется жёсткий монолитный каркас с заполнением эффективными стеновыми материалами.

Всё большее применение находят лёгкие каркасные металлоконструкции. Возведение здания осуществляется из отдельных конструктивных элементов на строительной площадке либо из модулей, монтаж которых производится на стройплощадке.

Данная технология имеет несколько основных достоинств. Во-первых, это быстрое возведение сооружения (короткий срок строительства). Во-вторых, возможность формирования больших пролётов. И наконец, лёгкость конструкции, уменьшающая нагрузку на фундамент. Это позволяет, в частности, устраивать мансардные этажи без усиления фундамента.

Особое место среди металлических каркасных систем занимают системы из термозащитных элементов (стальных профилей с перфорированными стенками, прерывающими «мостики холода»).

Приведём несколько основных типов:

- сооружения строительства по системе Genesis;
- система Талдом-Профиль;

- технология быстровозводимых бескаркасных зданий из высокоэффективных стальных конструкций;
- бескаркасные ангары;
- быстровозводимые здания ангарного типа Ruukki (Финляндия);
- здания системы Трасскон.

Повышение эксплуатационных свойств бетона тонкослойными цементными композициями поверхностного и проникающего действия (В. Я. Соловьева и др. Б.Ж. – 2009. – № 3. – С. 16 – 18). Показано, что применение дисперсий гидрозолей коллоидного размера способствует повышению плотности структуры тонкослойных цементных композиций (ТЦК) и, как следствие, росту прочности на сжатие и растяжение при изгибе, трещиностойкости.

11.5. ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА

Прогноз и тенденция строительства жилья в Москве (А. А. Ивлев, Е. М. Штейн).

После постановления Правительства 1954 года началось бурное развитие производства сборных железобетонных конструкций. С 1955 по 1985 год его производство возросло в 25 раз. В 1989 году годовой объём составил 180 млн м³. Затем объём производства сборного железобетона стал снижаться и через 15 лет потенциал домостроительных комбинатов использовался только на 25%.

Причиной этого являлся переход на более прогрессивные формы и методы строительства, в основном из монолитного железобетона. Имелась уже возможность возведения целых блоков – квартир.

В постановлении Правительства от 25 июня 2002 г. «О ходе реализации Генерального плана развития г. Москвы» и задачах градостроительного развития Москвы указывается на переход строительства жилья только по монолитной технологии.

Тенденции архитектурного освоения лёгких металлоконструкций получают различные измерения в условиях жилищного строительства:

Технико-морфологический потенциал развития ЛМК. Степень соответствия параметров конструкции производственным и эксплуатационным требованиям выражается в заводской, строительной и транспортной технологичности. Результатом нормализации технологических параметров металлических конструкций служит проектный и производственный стандарт. В процессе стандартизации устанавливается рационально-ограниченный ряд параметров металлоконструкций и правил формирования домостроительного комплекта. Средствами технологического измерения формы служат:

- пропорционирование, введение гармонических и аддитивных размерных рядов, выявление пропорциональных соотношений между частью и целым по принципу геометрического подобия;
- координация размерных рядов, введение модульной сетки и системы координации размеров;

- классификация форм металлоконструкций и каркасных систем по видовым признакам (по весовым и геометрическим характеристикам, по марке металла, по функциональному назначению, по несущей способности, по способу изготовления, обработки и монтажа, по степени комплексности и технологичности и прочим признакам).

Правила пропорционирования, координации конструкций, стандартизации архитектурных форм с учётом технологических качеств определяются требованиями серийного производства металлоконструкций, поточного производства домостроительных комплектов, комплексной стандартизации металлоконструкций и уровнем производственной культуры.

Социально-экономический потенциал развития ЛМК. Технологическая гибкость и эксплуатационная экономичность характеризуют металл как «высокотехнологичный» строительный материал, отвечающий требованиям и задачам модернизма и высокотехнологичной архитектуры. Рационализация форм металлоконструкций осуществляется путём подбора выгодных очертаний конструкций, применения марок и сплавов металлов с лучшими механическими свойствами, организации эффективных конструктивных узлов и компоновочных схем. Дифференциация металлоконструкций на традиционные и прогрессивные формы имеет условное значение и определяется изменением уровня культуры производства и границами применения металлических конструкций в жилищном строительстве.

Эксплуатационная экономичность и технологичность металлоконструкций может иметь и социальный подтекст. Технологическая гибкость металлоконструкций формирует потенциал для положительного переустройства и организации индивидуальных и публичных пространств в зависимости от цикла службы архитектурно-конструктивной системы жилого здания. Обращение к металлоконструкциям в жилищном строительстве обосновывается необходимостью в формировании архитектурно-конструктивных систем повышенной эксплуатационной эффективности и заводской готовности. На сегодняшний день подобные системы домостроения продолжают вызывать академический интерес и сохраняют потенциал для дальнейшего развития и практического освоения.

Лекция 12
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ–СООРУЖЕНИЕ»

12.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Здание – составной стержень с жёсткими поперечными связями. Модель основания – переменный коэффициент жёсткости $C(x)$. Необходимые для расчёта данные приведены на рис. 12.1.

Дифференциальное уравнение для двухветвевое составного стержня на грунтовом основании:

$$\sum EYW^N(x) - T''(x)v + C(x)W(x) = q(x).$$

Здание – балка с изгибной и сдвиговой жёсткостями. Прогиб балки состоит из нагрузки, вызванной изгибающим моментом и прогибом от поперечной силы:

$$W(x) = W_M(x) + W_Q(x).$$

Тогда

$$\begin{aligned} W^{IV}(x) &= W_M^{IV}(x) + W_Q^{IV}(x); \\ W_M^{IV} &= -p_{гр}(x)/[EY] = -cW(x)/[EY]; \\ W_Q^{IV} &= mW_M^{IV}(x)/[GA], \end{aligned}$$

где m – коэффициент неравномерности распределения касательных напряжений в поперечном сечении.

Так как $M' = Q, M'' = Q' = CW$, то

$$W_Q^{IV} = mCW''(x)/[GA],$$

с учётом этого

$$W^{IV} = -CW(x)/[EY] + mCW''(x)/[GA].$$

После преобразования

$$[EY]W^{IV}(x) = -\frac{[EY]}{[GA]}mCW''(x) + CW(x) = q(x).$$

Основание описывается двумя коэффициентами постели (Модель Пастернака). Один коэффициент постели $C(x)$ учитывает работу грунта на сжатие-растяжение, а другой $h(x)$ – на сдвиг.

Тогда

$$\begin{aligned} W_M^{IV}(x) &= [-C(x)W(x) + h(x)W''(x)]/[EY]; \\ W_Q^{IV}(x) &= mC(x)W''(x)/[GA]. \end{aligned}$$

Окончательно

$$[EY]W^{IV}(x) - h(x)W''(x) - \frac{[EY]}{[GA]}mC(x)W''(x) + C(x)W(x) = q(x).$$

Основание описывается моделью линейно деформируемой среды с использованием метода Б. И. Жемочкина (1962).

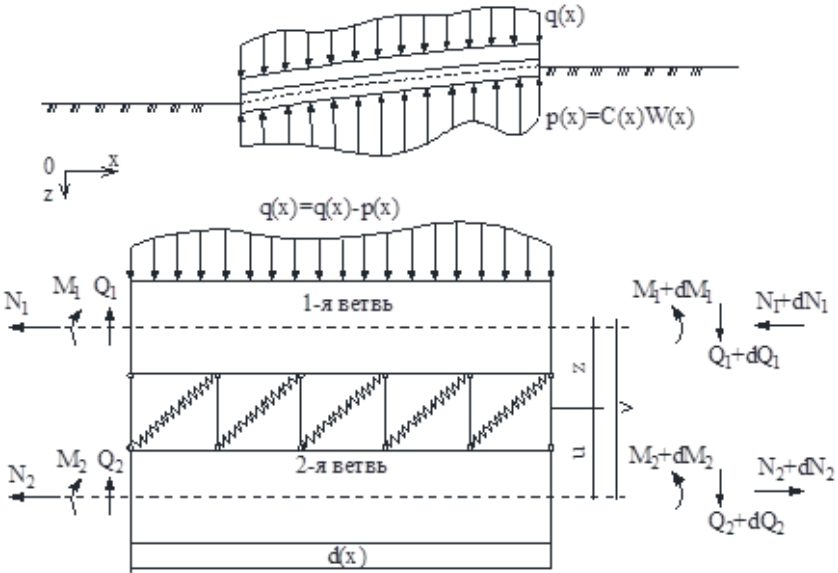


Рис. 12.1. Основная схема составного стержня

Использован конечно-разностный метод (рис. 12.2).

Для показанной основной системы

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + x_3 \delta_{13} + \dots + x_n \delta_{1n} + y_0 + a_1 \varphi_0 + \Delta_{1p} = 0; \\ \dots \dots \dots \\ x_1 \delta_{n1} + x_2 \delta_{n2} + x_3 \delta_{n3} + \dots + x_n \delta_{nn} + y_0 + a_n \varphi_0 + \Delta_{np} = 0; \\ x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n - \sum P = 0; \\ x_1 a_1 + x_2 a_2 + x_3 a_3 + \dots + x_n a_n - \sum M_p = 0. \end{array} \right.$$

Неизвестными являются усилия в стержнях, осадка в условной заделке и угол поворота. Решение сводится к определению реакций на каждом участке и построению эпюр.

Теория контактных задач. Материал изложен на основе обзора, опубликованного в книге «Развитие теории контактных задач в СССР. – М. : Наука, 1976. – 493 с.

Теория находит применение в различных областях техники, особенно в машиностроении и строительстве. Она даёт возможность найти распределение напряжений в областях, выявить места концентрации напряжений. Рассматриваются среднеупругие, анизотропно-упругие, вязкоупругие или пластические, сплошные и с разрезами или трещинами. Проводятся решения статических и динамических контактных задач.

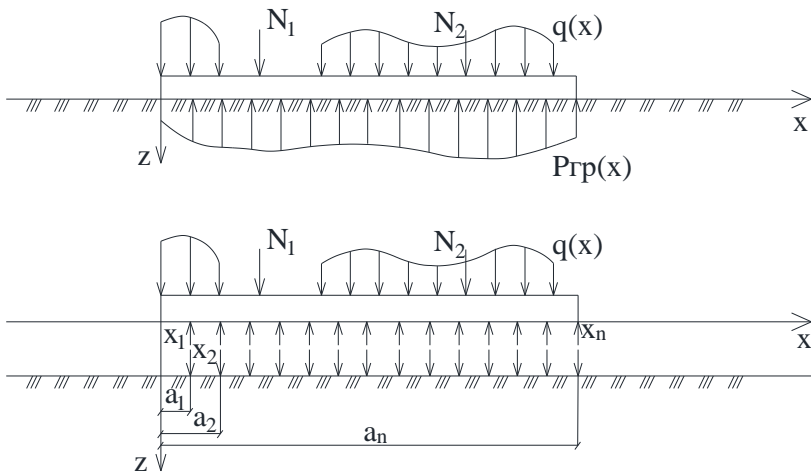


Рис. 12.2. Схема сил, действующая на балку

Контактные задачи для полуплоскости. Для плоских контактных задач полная система уравнений имеет вид

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0;$$

$$\sigma_x = 2G \left(\varepsilon_x + \frac{\mu}{(1-2\mu)} T \right);$$

$$\sigma_y = 2G \left(\varepsilon_y + \frac{\mu}{(1-2\mu)} T \right);$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = G\gamma_{xy};$$

$$\varepsilon_x = \partial u / \partial x; \quad \varepsilon_y = \partial u' / \partial y;$$

$$\gamma_{xy} = \partial u / \partial y + \partial u' / \partial x;$$

$$T = \varepsilon_x + \varepsilon_y = \partial u / \partial x + \partial u' / \partial y.$$

Эти уравнения подходят для малых деформаций, когда компоненты смещения (разность координат до и после деформаций) и их произведения настолько малы, что их квадратами и производными можно пренебречь.

Неизвестными являются: σ_x , σ_y , τ_{xy} , u , u' .

Контактная задача для полупространства. Компоненты перемещения и напряжения в упругом полупространстве при отсутствии на границе сил трения определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
u &= (1-2\nu)/(2(1-\nu)) \int_z^\infty \frac{\partial v}{\partial x} dz - \frac{z}{2(1-\nu)} \frac{\partial v}{\partial x}; \\
u' &= (1-2\nu)/(2(1-\nu)) \int_z^\infty \frac{\partial v}{\partial y} dz - \frac{z}{2(1-\nu)} \frac{\partial v}{\partial y}; \\
\omega &= \nu - \frac{z}{2(1-\nu)} \frac{\partial v}{\partial z}; \\
\sigma_x &= \frac{Eu'}{1-\nu^2} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{(1-2\nu)E}{2(1-\nu^2)} \int_z^\infty \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} dz - \frac{Ez}{2(1-\nu^2)} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}; \\
\sigma_y &= \frac{Eu'}{1-\nu^2} \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{(1-2\nu)E}{2(1-\nu^2)} \int_z^\infty \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} dz - \frac{Ez}{2(1-\nu^2)} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}; \\
\sigma_z &= \frac{E}{2(1-\nu)} \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{Ez}{2(1-\nu^2)} \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}.
\end{aligned}$$

Граничные условия:

$$\begin{aligned}
T(x, 0) &= f_1(x), & |x| < a; \\
T(x, 0) &= f_2(x), & |x| > a; \\
\nu(x, 0) &= b_0, & |x| \leq a; \\
\sigma_y(x, 0) &= 0, & |x| > a; \\
\tau_{xy}(x, 0) &= 0, & -\infty < x < \infty.
\end{aligned}$$

Контактные задачи для линейно-вязких тел. Рассматриваются контактные задачи тел, обладающих свойствами ползучести (релаксации). Если механические свойства материала (полимера) не изменяются по времени, то их называют упруго-наследственными и описывают теорией наследственной упругости.

Поведение стареющих материалов (Жетонов) описывается теорией наследственного старения или теорией упругоползучего тела. Стареющие и нестареющие среды называют вязкоупругими.

Решение квазистатических задач с постоянной областью контакта осуществляется применением принципа Вольтера. Рассматриваются функции интегральных операторов Вольтера, например, t :

$$H_y^*(t) = \int_{\tau}^t H(t, \tau) y(\tau) d\tau,$$

где $H(t, \tau)$ – ядро.

Связь между напряжениями и деформациями упруго-наследственного тела при простом растяжении-сжатии представляется формулами:

$$\sigma(t) = E_0 \left[\varepsilon(t) - \int_0^t \Gamma(t - \tau) \varepsilon(\tau) d\tau \right] = E_t \varepsilon(t);$$

$$\varepsilon(t) = E_0^{-1} \left[\sigma(t) - \int_0^t K(t - \tau) \sigma(\tau) d\tau \right] = E_t^{-1} \sigma(t),$$

где E_0 – мгновенный модуль упругости; $K(t - \tau)$ – ядро ползучести (последствия); $T(t)$ и $K(t)$ – функции, определяемые из опытов.

12.2. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Реология – наука, устанавливающая общие законы образования и развития во времени деформаций любого вещества от различных причин в различных термодинамических и физико-химических условиях.

В реологических моделях присутствует фактор времени. Число идеальных реологических тел неограниченно. Они строятся на основе трёх простейших тел Гука, Ньютона и Сен-Венана. Аналогом модели Гука является пружина, Ньютона – поршень, вставленный в сосуд с вязкой жидкостью, Сен-Венана – элемент сухого трения.

В литературе имеется значительное количество работ, в которых исследован процесс изменения напряжённо-деформированного состояния.

Выбор модели материала является ответственным этапом работы. На различных уровнях нагружения могут быть использованы разные модели.

Математическая модель – математическое описание физической модели. Включает матризованные входные и выходные данные и математически сформулированный оператор перехода от первых ко вторым.

Физическая модель – идеализация свойств заданной конструкции и внешних воздействий.

Факторы, влияющие на деформации, прочность и устойчивость системы «основание – фундамент (или фундаменты) – основание». Согласно существующим в настоящее время представлениям о совместной работе оснований и возведённых на них зданий и сооружений этими факторами являются:

- геометрия надфундаментного строения;
- жёсткостные и прочностные характеристики его элементов (в принципе, несущие элементы зданий и сооружений обычно выполняются из разнородных материалов, прочность и деформационные свойства которых могут различаться в десятки, а иногда и в сотни раз);

- тип, конструкция и геометрия фундаментов;
- их жёсткостные и прочностные свойства;
- текстурные особенности грунтовой толщи;
- свойства грунтовых слоёв (в том числе реологические).

Протекающие во времени в грунтовом основании процессы трансформации их напряжённо-деформированного состояния обусловлены такими основными процессами:

- фильтрационной консолидацией;
- ползучестью грунтового скелета;
- перераспределением (в том числе релаксацией) напряжений.

Согласно современным представлениям, процесс фильтрационной консолидации обусловлен миграцией поровой жидкости в грунтовом основании под воздействием градиента порового давления. При этом предполагается, что взаимосвязь между скоростью фильтрации и градиентом порового давления подчиняется закону Дарси.

Ползучесть грунтового скелета является специфическим свойством грунта, которое проявляется при воздействии на основание нагрузки. В механике грунтов под ползучестью принято понимать непрерывное накопление во времени деформаций при воздействии на основание постоянной во времени нагрузки. Общий вид схематической кривой ползучести представлен на рис. 12.3.

С деформированием грунтов в рамках упругой среды принято различать объёмную и сдвиговую ползучесть.

Также различают:

- затухающую ползучесть (такую ползучесть, при которой при неограниченном возрастании времени деформации стремятся к некоторому пределу, а скорость ползучести стремится к нулю);
- вековую ползучесть (такую ползучесть, при которой с течением времени деформации неограниченно возрастают, причём скорость деформации при неограниченном возрастании времени стремится к нулю);
- ползучесть с постоянной скоростью;
- прогрессирующую ползучесть с возрастающей с течением времени скоростью.

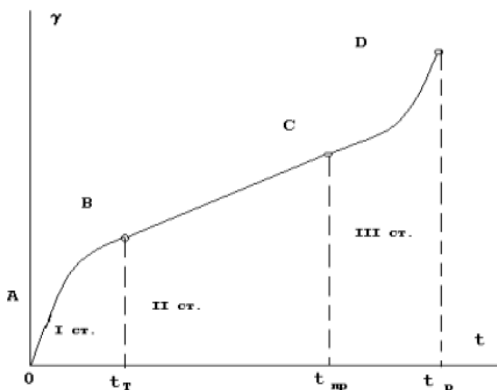


Рис. 12.3. Кривая ползучести грунта (схема):

I ст. – затухающая ползучесть; II ст. – то же с постоянной скоростью;
 III ст. – прогрессирующая ползучесть. На участке АВ – показана ползучесть с затухающей скоростью, на участке ВС – ползучесть с постоянной скоростью, на участке CD – ползучесть с возрастающей скоростью

Кроме того, деформации грунтовых оснований при загрузке – разгрузке подразделяют на:

- полностью обратимые, восстанавливающиеся мгновенно (т.е. упругие);
- запаздывающие во времени полностью обратимые (вязкие);
- полностью необратимые (т.е. пластические).

При этом известно, что пластические деформации оснований могут проявляться как мгновенно, так и накапливаться во времени.

Для прогноза деформации неустановившейся затухающей ползучести применяют линейную (в отношении напряжений) теорию наследственной ползучести Больцмана–Вольтера.

Уравнение состояния при однократном нагружении имеет вид

$$\varepsilon(t) = \frac{\delta(t)}{E} + k(t - t_0)\delta(t_0)t_0,$$

где $\varepsilon(t)$ – изменение относительной деформации во времени; $\delta(t)/E$ – мгновенная деформация в момент времени t при модуле E ; $k(t - t_0)\delta(t_0)t_0$ – ядро ползучести.

Ядро ползучести – скорость ползучести при постоянном напряжении, отнесенная к единице действующего давления.

Уравнение ползучести принято в виде

$$\gamma_t = \omega(t, \sigma_z)f(\tau, \sigma_z, t),$$

где $f(\tau, \sigma_z, t) = \alpha(\sigma_z, t)\tau + \beta(\sigma_z, t)\tau n(\sigma_z)$, $\omega(\sigma_z t)$ – мера сдвиговой ползучести; $f(\tau, \sigma_z, t)$ – функция касательного напряжения, зависящая от σ_z ; n – показатель нелинейности деформации сдвиговой ползучести.

Для описания процессов термо- и виброползучести предложено уравнение

$$\gamma_t = \omega(t - v)f(\tau/\tau_{f,st}(\sigma_{z,t} - v, T_0, \omega_0, a_0, \omega),$$

где T_0 – температура; ω_0 – частота колебаний; a_0 – амплитуда колебаний.

Ползучесть может происходить с постоянной или уменьшающейся скоростью, но может возникать (при больших уровнях напряжений) и незатухающая с увеличивающейся скоростью (прогрессирующая ползучесть), приводящая к разрушению.

Для прогноза развития осадок во времени используют теорию фильтрационной консолидации. При этом рассматривают полностью водонасыщенные грунты. Вода из пор отжимается только в вертикальном направлении. В начальный момент времени (приложения нагрузки) давление передаётся на воду, а затем постепенно на скелет грунта.

Осадка в любой момент времени

$$S_t = US,$$

где U – степень уплотнения во времени; S – конечная осадка, например вычисленная по СП.

Величина $U = f(N_R)$, где $N_R = \frac{\pi^2 C_v}{4h_s t}$; t – время от начала приложения нагрузки; h_s – толщина уплотняемого слоя; C_v – коэффициент консолидации, $C_v = K_\phi E / \gamma_\omega \beta$; K_ϕ – коэффициент фильтрации; $\beta = f(v)$.

Вследствие протекающих в грунтовых основаниях реологических процессов (т.е. фильтрационной консолидации и ползучести грунтового скелета) происходит трансформация напряжённо-деформированного состояния оснований, фундаментов и надфундаментных строений. В ряде случаев эта трансформация приводит к значительным повреждениям и деформациям несущих элементов конструкций зданий и сооружений, вплоть до их разрушения. В этой связи проблема прогноза напряжённо-деформированного состояния грунтовых оснований является актуальной и требует своего решения.

Для полного учёта реологических свойств грунтового основания наиболее перспективной является модель водонасыщенного упруговязкопластического основания.

Суть упруговязких (иногда их называют вязкоупругими) моделей заключается в том, что на основе тех или иных соображений и(или) опытных данных составляется уравнение движения грунта в процессе его ползучести вида:

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{d^i \varepsilon}{dt^i} - \sum_{i=1}^m b_i \cdot \frac{d^i \sigma}{dt^i} = 0.$$

Здесь ε – деформация; σ – напряжение; t – время; a_i и b_i – эмпирические коэффициенты, которые определяются либо из опытов на ползучесть, либо из опытов на релаксацию.

При этом не обязательно использовать механические элементы Гука, Ньютона и им подобные. Достаточно с использованием дифференциального уравнения n -й степени выполнить аппроксимацию полученных тем или иным способом экспериментальных данных.

Для описания напряжённо-деформированного состояния водонасыщенных оснований целесообразно использовать теорию взаимосвязанной фильтрационной консолидации. В этом случае необходимо одновременно учитывать влияние на напряжённо-деформированное состояние грунтового скелета давления в поровой жидкости и наоборот – напряжений в грунтовом скелете на поровое давление.

Принятое в настоящее время для прогноза напряжённо-деформированного состояния грунтовых оснований уравнение состояния, связывающее объёмную деформацию линейного изотропного обладающего свойством ползучести основания и градиент давления в его поровой жидкости, нуждается в дополнительном обосновании. Это объясняется тем, что согласно данному уравнению состояния скорость изменения объёмной деформации прямо пропорциональна градиенту порового давления и не зависит от реологических свойств грунтового скелета.

Принятые в настоящее время для прогноза напряжённо-деформированного состояния изотропных водонасыщенных грунтовых оснований уравнения состояния либо не отражают физической сути процесса, либо включают в себя материальные константы, для определения которых не существует нормативных документов. При этом они отличаются друг от друга и классических уравнений теории тепломассопереноса.

С точки зрения физики процесса модели наследственно-ползучего, вязкоупругого, упруговязкого и наследственно-упругого оснований – это одни и те же модели грунта, поскольку с их использованием описываются полностью обратимые деформации, часть которых при разгрузке грунта восстанавливается мгновенно, а часть – через некоторое время после снятия нагрузки.

В рамках моделей весомой и невесомой, водо- и неводонасыщенных грунтов, обладающих упруговязкопластическими свойствами, практически не исследованы проблемы расчёта напряжённо-деформированного состояния анизотропных оснований. В данном случае проблемой является не только решение конкретных задач механики грунтов и фундаментостроения, но и получение соответствующих уравнений состояния.

12.3. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

Контролируемые параметры при обследовании зданий: габаритные размеры, этажность, высота этажа; конструктивная схема; тип и глубина заложения фундаментов; нагрузки и воздействия; общий крен, размеры между осями основных конструктивных элементов (пролёт, шаг колонн, балок, ферм), отметки характерных узлов, расстояния между узлами и т.д.; геометрические размеры конструктивных элементов; конструкции узлов и стыков, типы и материал несущих и ограждающих конструкций.

Контролируемыми параметрами *для бетонных конструкций* являются: геометрические размеры; прочность бетона конструкций; проницаемость бетона; щёлочность бетона; морозостойкость бетона.

Для железобетонных конструкций: геометрические – размеры; ширина раскрытия трещин; вид арматуры; прогибы; толщина защитного слоя бетона; прочность бетона конструкций; проницаемость бетона; щёлочность бетона; морозостойкость бетона; диаметры, количество и расположение арматуры; прочность арматуры; состояние стыков или узлов сборных конструкций.

Для каменных конструкций: тип и качество выполнения кладки; вид и марки камней и раствора; геометрические размеры (толщина и высота стен, размеры простенков); прочность камней и раствора; морозостойкость камней; толщина швов кладки; величина пустошовки; вид, диаметры, количество и расположение арматуры; прочность арматуры; влажность кладки.

В число контролируемых параметров при обследовании бетонных, железобетонных и каменных конструкций следует включать прочностные характеристики бетона, камней и раствора в случаях, если:

- имеющаяся документация не содержит проектных данных о прочности материала, а эти сведения необходимы при оценке состояния конструкций;
- есть основания предполагать, что при приготовлении и укладке материалов были нарушены требования, действующие на момент строительства;
- есть основания предполагать, что материал в раннем возрасте подвергся воздействию отрицательных температур;
- материал имеет существенные коррозионные повреждения, повреждения в результате пожара или в результате переменного замораживания и оттаивания;
- конструкция подвергалась значительному динамическому или вибрационному воздействию;
- в результате поверочных расчётов с использованием проектных значений прочности материалов установлено, что несущая способность конструкции недостаточна, и есть основания полагать, что фактическая прочность бетона выше проектной;
- при изменении нагрузок или условий эксплуатации.

Количество, диаметр и прочность арматуры в случаях, если:

- отсутствуют проектные данные об армировании, а эти сведения необходимы при оценке состояния конструкций;
- есть основания предполагать, что при изготовлении были допущены отступления от проекта в армировании;
- прогибы и ширина раскрытия трещин превышают нормируемые;
- характер трещин и повреждений свидетельствует о возможном отступлении от требований проекта по армированию;
- имеются признаки, свидетельствующие о коррозии арматуры;
- конструкция подвергалась воздействию пожара;
- целью обследования является изыскание резервов несущей способности конструкций.

В остальных случаях контролируемые параметры, перечисленные в настоящем пункте, при обследовании могут не определяться, а при выполнении поверочных расчётов конструкций приниматься по проектным данным.

Для металлических конструкций: геометрические размеры, прогибы, предел текучести и временное сопротивление металла; относительное удлинение; ударная вязкость при различных температурах и после механического старения; химический состав стали; предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение, ударная вязкость и химический состав сварных швов, болтов, заклёпок; размеры (длина, катет) сварных швов; количество и диаметр заклёпок и болтов в узлах; класс точности и класс прочности болтов.

При обследовании металлических конструкций в число контролируемых параметров (с проведением лабораторных испытаний) следует включать прочностные характеристики стали, сварных швов, болтов и заклёпок, их пластичность, химический состав и склонность к хрупкому разрушению в случаях, если:

- отсутствуют исполнительная документация и сертификаты или недостаточны имеющиеся в них сведения;
- обнаружены в конструкциях повреждения, связанные с низким качеством стали (расслой, хрупкие трещины и др.);
- изыскиваются резервы несущей способности конструкций;
- металл претерпел пластические деформации или воздействие высоких температур;
- возможно развитие межкристаллитной коррозии или коррозионного растрескивания металла.

В остальных случаях контролируемые параметры, перечисленные в настоящем пункте, при обследовании могут не определяться, а при выполнении поверочных расчётов конструкций приниматься по проектной и исполнительной документации.

Для деревянных конструкций: геометрические размеры; прогибы; порода древесины и её сорт; прочностные характеристики древесины; влажность древесины; ширина годичных слоёв и содержание в них поздней древесины; вид фанеры и её прочностные характеристики; прочностные характеристики стальных или алюминиевых элементов: предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение; материал, количество, размещение и размеры соединительных элементов; степень пропитки древесины антипиренами; длина и глубина лобовых врубок; длина опорной площадки и глубина подрезки растянутой зоны изгибаемых элементов; вид и размеры ослабления сечений врубками, вырезами.

При обследовании деревянных конструкций в число контролируемых параметров следует включать прочностные характеристики древесины, фанеры, стальных или алюминиевых элементов в случаях, если:

- отсутствуют рабочие чертежи, паспорта и сертификаты на конструкции;
- обнаружены в конструкциях гниль, грибковые, энтомологические и другие повреждения древесины;
- изыскиваются резервы несущей способности конструкций;
- конструкции подверглись воздействию высоких температур или сильно увлажнены.

В остальных случаях контролируемые параметры, перечисленные в настоящем пункте, при обследовании могут не определяться, а при выполнении поверочных расчётов конструкций приниматься по проектной и исполнительной документации.

12.4. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА НДС ОБЪЕКТОВ

Неточности монтажа особенно влияют на НДС наиболее ответственных элементов несущей системы высотных зданий-колонн. В расчётах их считают центрально сжатыми. Иногда появляются начальные эксцентриситеты вследствие: неправильности центровки и изготовления, искривления, защемления в узле, неплотной пригонки фрезерованных торцов в стыке и неполного заполнения образовавшегося зазора.

Для расчёта стальных конструкций используют коэффициент продольного изгиба φ , состоящий из двух частей:

Первая часть – учитывает физическую нелинейность материала при потере устойчивости, вычисляется как отношение критического напряжения центрального стержня к пределу текучести.

Вторая часть – наличие случайных эксцентриситетов и вычисляется как отношение критических напряжений при внецентренном центральном сжатии.

Перечень технической документации, используемой при обследовании, включает:

- паспорт на здание и(или) сооружение;
- комплект общестроительных чертежей с указанием всех внесённых при производстве работ, и отметок о согласовании изменений с проектной организацией, разработавшей проект;
- акты приёмки здания (сооружения) в эксплуатацию с указанием недоделок, акты устранения недоделок;
- акты приёмочных испытаний, проведённых в процессе эксплуатации;
- технический журнал по эксплуатации здания (сооружения);
- акты на скрытые работы и акты промежуточной приёмки отдельных ответственных конструкций;
- журналы производства работ и авторского надзора;
- материалы геодезических съёмок;
- журналы контроля качества работ;
- сертификаты, технические паспорта, удостоверяющие качество конструкции и материалов;
- акты противокоррозионных и окрасочных работ;
- акты результатов периодических осмотров конструкций;
- акты расследования аварий и нарушений технологических процессов, влияющих на условия эксплуатации здания (сооружения);
- отчёты, документы и заключения специализированных организаций о ранее выполненных обследованиях; документы о текущих и капитальных ремонтах, усилениях конструкций;
- документы, характеризующие фактические технологические нагрузки и воздействия и их изменения в процессе эксплуатации;

- документы, характеризующие фактические параметры внутри цеховой среды (состав и концентрация газов, влажность, температура, тепло- и пылевыведение и т.д.);

- отчёты по инженерно-геологическим условиям территории, на которой расположено здание (сооружение).

Основными контролируемыми параметрами дефектов и повреждений железобетонных конструкций являются: ширина раскрытия и глубина трещин, их расположение и характер; размеры и расположение сколов с оголением и без оголения арматуры; степень повреждения арматуры и состояние её сцепления с бетоном; степень повреждения закладных деталей и состояние стыков и узлов сопряжений сборных конструкций; размеры и глубина пропитки нефтепродуктами; глубина преобразованного слоя бетона; температура нагрева бетона при пожаре.

Основными контролируемыми параметрами дефектов и повреждений каменных конструкций являются: ширина раскрытия трещин, их характер и расположение; глубина и размеры местных повреждений кладки.

Основными контролируемыми параметрами дефектов и повреждений металлических конструкций являются: размеры ослабления поперечного сечения элементов не предусмотренные проектом; размеры трещин в основном металле, сварных швах и околошовной зоне сварных швов; непровары, неполномерность, наличие кратеров, чешуйчатость и др. в сварных швах; подрезы основного металла; общее искривление элемента или конструкции по всей длине между точками закрепления; местные искривления на части длины элемента или вмятины; взаимное смещение конструкций; зазоры в местах сопряжения конструкций; смещение болтов и заклёпок с разбивочных осей и риск; глубина коррозии элементов; степень разрушения защитных покрытий и др. Основными контролируемыми параметрами дефектов и повреждений деревянных конструкций являются: степень поражения древесины грибками, энтомологическими вредителями, гнилью; ослабления поперечного сечения элементов, не предусмотренные проектом; размеры и расположение усушенных трещин; общее искривление элемента или конструкции по всей длине между точками закрепления; местное выпучивание элементов; зазоры между элементами; непрочности в клеёных конструкциях; деформации площадок смятия; глубина коррозии металлических элементов и деталей и др.

Перечень контролируемых параметров может быть расширен или сокращён в программе обследования в зависимости от вида конструкций, их состояния, вида воздействия (пожар, агрессивная среда и др.), полноты технической документации, целей и задач обследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использован подход И. П. Прокофьева о единой теории расчёта несущих строительных конструкций из разных материалов, испытывающих различные воздействия, использование одинаковых подходов к разработке методик проектирования, законов и принципов механики, прогрессивных идей, принятых в любых технических дисциплинах.

2. Сказанное выше относится к зданиям и сооружениям, в том числе к высотным и уникальным, при проектировании, строительстве и эксплуатации которых используются наиболее современные методы отечественных и зарубежных фирм, отработанный опыт строительства, быстрое внедрение научных разработок. Студенты, обучающиеся по такой схеме, способны получать более глубокие и разносторонние знания, склонны к творческому подходу, внедрению прогрессивных идей.

3. Всё активнее внедряется мониторинг, научное сопровождение проектирования, строительства и эксплуатации, учитываются изменения грунтовых условий и условий эксплуатации, расчётных схем и моделей, развитие дефектов и повреждений, структурных перестроек, оценок устойчивости.

4. В практике проводятся теоретические, численные и экспериментальные исследования напряжённо-деформированного состояния конструкций, узлов сопряжений, конструктивных систем. Развивается механика разрушения, теории ползучести и пластичности. Внедряются более современные контрольно-измерительные приборы и оборудование, способы регулирования напряжений, усилий и перемещений, методы усиления конструкций и систем.

5. В теории сооружений могут быть использованы единые подходы к оценке:

- надёжности;
- долговечности;
- живучести;
- устойчивости;
- взаимного влияния зданий, контактирующих конструкций.

6. Важнейшими проблемами являются прогнозы изменения:

- климата;
- грунтовых условий;
- экологических показателей;
- нагрузок от машин, механизмов;
- агрессивности среды;
- скорости подготовки территории.

7. Со временем возможен рост объёмов строительства в сложных условиях: овраги, свалки, пойменные территории, тесная городская среда, просадочный грунт, сейсмические районы и др.

8. Развитию творческой личности будут способствовать:
- эскизное проектирование;
 - участие в проведении и анализе результатов технического обследования строительных конструкций, зданий и сооружений; разработке усиления;
 - подробное самостоятельное изучение механики деформирования, разрушения и потери устойчивости; влияние концентраторов напряжений, начальных напряжений, ошибок эксплуатации.

Ключевые слова и выражения: асимметричная нагрузка; ассоциированный закон пластического течения; функции Бесселя; внезапное удаление несущей конструкции; высокоскоростные динамические сооружения; гладкие функции пластичности; графоаналитический метод расчёта; депланация; деформации теплового расширения; действие разрывных нагрузок; живучесть; предельные состояния; изотропно упрочняющийся материал; колебания упругих тел; комбинированные нагрузки; континуальная математическая модель; концентраторы напряжений; коэффициент увеличения динамической прочности; кусочно-однородная вязкая пластинка; критерии и параметры прочности и трещиностойкости; локальные тепловые воздействия; математическая модель; некорректно поставленные задачи; нелинейная термоупругость; нерегулярные системы, для которых численные методы сочетаются теорией графов; область допустимых значений; оболочки вращения; оболочки линейно-переменной толщины; ортогональные многочлены; ортотропный материал; параболический закон изменения жёсткости пластинки; перераспределение силовых потоков в статистических неопределимых конструктивных системах; пластины переменной толщины; поверхность нагружения; погрешность округления; поле остаточных напряжений; предельные деформации; процесс накопления деформаций; разработка алгоритма расчёта; радиационные воздействия; рамно-стержневые несущие системы; реализации алгоритма; симметричная деформация; сингулярные режимы; степенной закон изменения жёсткости пластинки; температурные деформации; температурные напряжения; теория изгиба круглых пластин; теория малых деформаций; теория упругости пластического тела; теория упругоползучего тела; теория хаоса; термопластическое деформирование; трансцендентные функции; условия пластичности; физическая модель; фундаментальные положения механики; функции пластичности; функции упрочнения; численный анализ живучести; число идеализированных особенностей; электромагнитные воздействия; эффективные методы защиты конструктивных систем от прогрессирующего разрушения.

Перспективы развития теории сооружений

- Анализ опыта проектирования строительства, эксплуатации, реконструкции и утилизации зданий и сооружений разного назначения в разных климатических, инженерно-геологических и гидрогеологических условиях как в нашей стране, так и за рубежом.

- Прогнозирование изменений исходных данных в период от изысканий до завершения срока службы объекта.
- Уточнение требований к объектам, конструктивным элементам, методам расчёта и конструирования, инженерным коммуникациям, водной и воздушной средам, технологическим процессам, образованию, приборам, здоровью и жизни людей.
- Разработка и внедрение новых эффективных материалов, конструкций, конструктивных систем, технологий, способа регулирования усилий, напряжений и деформаций, защиты от неблагоприятных воздействий.
- Повышение эксплуатационных свойств бетона тонкослойными цементными композициями поверхностного и проникающего действия.
- Повышение сейсмо-, пожаро- и коррозионной стойкости, надёжности, долговечности, ремонтпригодности, живучести конструкций и конструктивных систем, исключение систематического замачивания конструкции.
- Совершенствование методов расчёта, расчётных схем и моделей; обоснование последовательности строительно-монтажных работ; учёт в расчётах дефектов, повреждений, начальных напряжений; оперативное реагирование на появление предвестников разрушений в виде смятий, сдвигов и др.
- Внедрение эффективных приборов, оборудования для проведения мониторингов, контроля качества работ материалов и конструкции.
- Развитие экспериментально-теоретических исследований в области теории сооружений, участие учёных и крупных специалистов в научном сопровождении строительства.
- Повышение научно-технических условий и культуры производства на всех этапах и подразделениях в строительном комплексе.
- Разработка и внедрение эффективных способов усиления строительных конструкций, фрагментов зданий и сооружений; иногда их разделяют на три группы:
 - 1) возведение новых заменяющих или разгружающих конструкций;
 - 2) восстановление конструкций, несущая способность которых снизилась при эксплуатации;
 - 3) повышение несущей способности конструкции, находящихся в эксплуатации, для передачи на них дополнительных нагрузок, например технологических.

Объекты будущего

- **«Умные города».** В них все процессы жизнедеятельности автоматизированы. Опыт строительства таких городов получен в Южной Корее и Японии, затраты на возведение и сооружение пока очень высоки.
- **«Умные дома».** Активно ведутся и совершенствуются технологии во многих развитых странах мира. Нарастают темпы строительства таких домов. В них на требуемом уровне поддерживаются эксплуатационные параметры.

- **Искусственные острова** (Япония, Дубай и др.). Возводятся для различных целей: аэродромы, развлекательные центры, спортивные комплексы и т.п. Для таких островов опасны эрозионные процессы.
- **Изменение береговой линии.** Как правило, это осуществляется у океанов, морей и крупных внутренних водоёмов. Здесь размещают торгово-развлекательные центры.

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ ЗАКОНЫ РФ

Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 ноября 2017 г. Т 1550/пр «Об утверждении требования к энергоэффективности зданий и сооружений».

Национальный стандарт Российской Федерации ИСО ЕН 1990–2011 Еврокод (0): Основы проектирования сооружений (1-я редакция).

ГОСТ 27751–2014. Надёжность строительных конструкций и оснований.

СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 1-25–80».

СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты.

СП 50-102–2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов.

СП 22.13330.2016. Основание зданий и сооружений.

СТО 6554501-002–2006 «Деревянные клеёные, цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчёта» (Взамен СНиП II-25–80 «Деревянные конструкции»). М.: ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 2006.

СТО-008-02495342–2009 «Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий».

Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. No 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил». Постановление Межгосударственной Ассамблеи государств-участников Содружества Государств декабря No 33-22 «Концепция технического регулирования в государствах – участниках СНГ».

№ 2395-1 от 21.02.1992 «О недрах».

№ 128-ФЗ от 08.08.2001 «О лицензировании отдельных видов деятельности».

№ 184-ФЗ от 27.12.2002 «О техническом регулировании».

Федеральный закон Российской Федерации от 27 декабря 2002 г. No 184-ФЗ «О техническом регулировании».

№ 315-ФЗ от 01.12.2007 «О саморегулируемых организациях».

№ 309-ФЗ от 18.07.2008 «О безопасности гидротехнических сооружений».

№ 148-ФЗ от 22.07.2008 «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. N261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

№ 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

ЕВРОКОДЫ

(МЕЖДУНАРОДНАЯ НОРМАТИВНАЯ БАЗА ПРОЕКТИРОВАНИЯ)

EN (Euro norm) – Европейский нормативно-технический документ.

EN 1990:2011 «Основы строительного проектирования»

EN 1990:2011 «Основные положения по проектированию несущих конструкций».

EN 1991:2009 «Несущие конструкции. Воздействия».

EN 1992:2009 «Железобетонные конструкции. Проектирование, расчёты, параметры».

EN 1993:2004 «Стальные конструкции. Проектирование, чёты, параметры».

EN 1994:2004 «Железобетонные конструкции. Проектирование, расчёты, параметры».

EN 1995:2009 «Деревянные конструкции. Проектирование, расчёты, параметры».

EN 1996:2005 «Каменные конструкции. Проектирование, расчёты, параметры».

EN 1997:2007 «Проектирование геотехническое».

EN 1998:2005 «Проектирование сейсмостойчивых строительных конструкций».

EN 1998:2009 «Проектирование сейсмостойчивых строительных конструкций».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамчук, В. П.** Подземные сооружения / В. П. Абрамчук, С. Н. Власов, В. М. Мостков. – М. : ТА Инжиниринг, 2005. – 464 с.
2. **Айдемиров, К. Р.** Состояние проблемы прогрессирующего разрушения зданий и сооружений, классификация задач и подходы к их решению / К. Р. Айдемиров // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2010. – № 3.
3. **Александров, А. Я.** Пространственные задачи теории упругости / А. Я. Александров, Ю. И. Соловьев. – М. : Наука, 1978. – 462 с.
4. **Александровский, С. В.** Расчёт бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учётом ползучести бетона / С. В. Александровский. – М. : АСВ, 2004. – 712 с.
5. **Арутюнян, Н. Х.** Некоторые вопросы теории ползучести / Н. Х. Арутюнян. – М. : Гостехтеориздат, 1952. – 323 с.
6. **Баранова, Т. И.** Каркасно-стрелевые расчётные модели и инженерные методы расчёта железобетонных конструкций : учебное пособие / Т. И. Баранова. – М. : АСВ, 2003. – 240 с.
7. **Системный анализ и его приложение : учебное пособие** / С. А. Баркалов и др. – Воронеж : Научная книга, 2008. – 439 с.
8. **Безухов, Н. И.** Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах : учебное пособие / Н. И. Безухов, О. В. Лужин, Н. В. Колкунов. – М. : Стройиздат, 1963. – 371 с.
9. **Белл, Дж. Ф.** Экспериментальные основы механики деформируемых твёрдых тел : в 2-х ч. Ч. I. Малые деформации / Дж. Ф. Белл ; пер. с англ. ; под ред. А. П. Филина. – М. : Наука, 1984. – 600 с.
10. **Белл, Дж. Ф.** Экспериментальные основы механики деформируемых твёрдых тел : в 2-х ч. Ч. II. Конечные деформации / Дж. Ф. Белл ; пер. с англ. ; под ред. А. П. Филина. – М. : Наука, 1984. – 432 с.
11. **Абрамчук, В. П.** Подземные сооружения / В. П. Абрамчук, С. Н. Власов, В. М. Мостков. – М. : ТА Инжиниринг, 2005. – 464 с.
12. **Гарагаш, Б. А.** Надёжность пространственных регулируемых систем «основание–сооружение» при неравномерных деформациях основания : в 2-х т. Т. 1 / Б. А. Гарагаш. – М. : АСВ, 2012. – 416 с.
13. **Денисов, Н. Я.** Природа прочности и деформации грунтов : монография / Н. Я. Денисов. – М. : Стройиздат, 1972. – 280 с.
14. **Добров, Э. М.** Механика грунтов : учебник / Э. М. Добров. – М. : Изд. Центр «Академия», 2008. – 272 с.
15. **Дубровский, В. Б.** Оценка напряжённого состояния строительных конструкций по деформациям / В. Б. Дубровский, П. А. Лавданский, И. А. Енговатов. – М. : АСВ, 2010. – 368 с.
16. **Ермеев, П. Г.** Особенности проектирования уникальных большепролётных зданий и сооружений / П. Г. Ермеев // Строительная механика и расчет сооружений. – 2005. – № 1. – С. 69 – 75.

17. **Ермеев, П. Г.** Пространственные тонкостенные металлические конструкции покрытий / П. Г. Ермеев // Строительная механика и расчёт сооружений : научное издание. – М. : АСВ, 2006. – 560 с.

18. **Ермеев, П. Г.** Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролётных зданий и сооружений при аварийных ситуациях / П. Г. Ермеев // Строительная механика и расчёт сооружений, 2005. – № 2. – С. 66 – 71.

19. **Жемочкин, В. Н.** Практические методы расчёта балок и фундаментных плит на упругом основании / В. Н. Жемочкин, А. П. Синицин. – М. : Госстройиздат. – 1962. – 239 с.

20. **Жемочкин, Б. Н.** Расчёт круглых плит на упругом основании / В. Н. Жемочкин. – М. : Военно-инженерная академия им. В. В. Куйбышева, 1938. – С. 7 – 53.

21. **Заковенко, В. В.** Особенности возведения монолитных стен ММДЦ «Москва-Сити» / В. В. Заковенко // Бетон и железобетон. – 2005. – № 4. – С. 9 – 14.

22. **Зайцев, Ю. В.** Моделирование деформаций и прочности бетона методами механики разрушения : научное издание / Ю. В. Зайцев. – М. : МГОУ, 1995. – 196 с.

23. **Залесов, А. С.** Настоящее и будущее железобетона / А. С. Залесов, Т. А. Мухамедиев // Бетон и железобетон. – 2005. – № 4. – С. 3 – 6.

24. **Зарецкий, Ю. К.** Теория расчёта грунтов / Ю. К. Зарецкий. – М. : Наука, 1967. – 360 с.

25. **Зарецкий, Ю. К.** Расчёт сооружений и оснований по предельным состояниям / Ю. К. Зарецкий // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2003. – № 3. – С. 2 – 6.

26. **Зверев, В. В.** Влияние податливости болтовых соединений на деформативность фермы из тонкостенных гнутых профилей / В. В. Зверев, А. С. Семенов // Строительство и архитектура. Научный вестник ВГАСУ. – 2008. – № 2(10). – С. 9 – 17.

27. **Зеркалов, М. Г.** Геомеханика. Введение в механику скальных грунтов : учебник / М. Г. Зеркалов. – М. : АСВ, 2014. – 352с.

28. **Математические** методы в строительной механике : научное издание / А. Б. Золотов, П. А. Акимов, В. Н. Сидоров, М. Л. Нозгалева. – М. : АСВ, 2008. – 336 с.

29. **Зубчанинов, В. Г.** Механика процессов пластичных сред / В. Г. Зубчанинов – М. : Физматиздат, 2010. – 352 с.

30. **Иконин, С. В.** Контактное взаимодействие заглублённого штампа с основанием при произвольном статическом нагружении / С. В. Иконин // расчёт и проектирование оснований и фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях. – Воронеж : ВИСИ, 1992. – С. 82 – 86/

31. **Ильичев, В. А.** Метод расчёта деформаций оснований зданий вблизи глубоких котлованов / В. А. Ильичев, Н. С. Никифорова, Е. Б. Корнева // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2006. – № 6. – С. 2 – 6.

32. **Ильчив, В. А.** Строительство подземной части здания Государственного Академического Мариинского театра в Санкт-Петербурге / В. А. Ильчив, Р. А. Мангушев // Основания, фундаменты и механика грузов. – 2010. – № 4. – С. 2 – 7.
33. **Ильчив, В. А.** Расчётное обоснование Технология «Set – grouting» для снижения дополнительных осадок / В. А. Ильчив, Ю. А. Готман, В. П. Назаров // Вестник гражданских инженеров. – 2005. – № 2(19). – С. 91 – 94.
34. **Инженерные** сооружения в транспортном строительстве : учебник для студ. высш. учеб. заведений : в 2-х кн. Кн. 1 / П. М. Саламахин, Л. В. Маковский, В. И. Попов и др. ; под ред. П. М. Саламахина. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
35. **Леденёв, В. В.** Испытание грунтовых оснований, материалов и конструкций : учебное пособие / В. В. Леденёв, В. П. Ярцев, В. Г. Однолько. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 240 с.
36. **Кабанцев, О. В.** Расчёт конструирования многоэтажных и высотных монолитных железобетонных зданий : конспект лекций / О. В. Кабанцев. – М. : АСВ, 2013. – 419 с.
37. **Канчели, Н. В.** Реализованные мембранные оболочки. Расчёт, проектирование и возведение : учебное пособие / Н. В. Канчели, П. А. Батов, Д. Ю. Дробот. – М. : АВС, 2009. – 120 с.
38. **Капур, К.** Надёжность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М. : Мир, 1980. – 604 с.
39. **Кабанцев, О. В.** Расчёт конструирования многоэтажных и высотных монолитных железобетонных зданий : конспект лекций / О. В. Кабанцев. – М. : АСВ, 2013. – 419 с.
40. **Карабанов, Б. В.** Применение метода аналогии при вычисление критических нагрузок несущей системы многоэтажных зданий / Б. В. Карабанов // Бетон и железобетон. – 2012. – № 5 – С. 18 – 21.
41. **Караулов, А. И.** Несущая способность оснований осесимметричных фундаментов зданий и сооружений : автореф. дис. ... д-ра техн. наук // А. И. Караулов. – СПб., 2009. – 46 с.
42. **Климанов, В. Н.** Конические фундаменты-оболочки / В. Н. Климанов, А. Г. Литвиненко, В. П. Ковалева. – М. : Стройиздат, 1988. – 128 с.
43. **Колмогоров, А. Г.** Расчёт железобетонных конструкций по Российским и Зарубежным нормам : учебное издание / А. Г. Колмогоров, В. С. Плевков. – Томск : Изд-во «Печатная мануфактура», 2009. – 494 с.
44. **Колтунов, М. А.** Прочностные расчёты изделий из полимерных материалов : учебное пособие / М. А. Колтунов, В. П. Майборода, В. Г. Зубчанников. – М. : Машиностроение, 1983. – 239 с.
45. **Коробко, В. И.** Строительная механика стержневых систем : учебник / В. И. Коробко, А. В. Коробко. – М. : АСВ, 2007. – 510 с.
46. **Крутов, В. И.** Фундаменты мелкого заложения : учебное пособие / В. И. Крутов, В. А. Ковалев. – М. : АСВ, 2009. – 232 с.

47. **Металлические** конструкции : учебник / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя, В. С. Игнатьева и др. – М. : Академия, 2008. – 688 с.
48. **Кушнер, С. Г.** Расчёт деформаций оснований, зданий и сооружений : монография / С. Г. Кушнер. – Запорожье : ООО «ИПО Запорожье», 2008. – 496 с.
49. **Леденёв, В. В.** Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений : учебное пособие / В. В. Леденёв, В. П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 252 с.
50. **Леденёв, В. В.** Механические и реологические модели оснований и фундаментов : учебное пособие / В. В. Леденёв, А. В. Худяков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.
51. **Леденёв, В. В.** Прочность и трещиностойкость стен / В. В. Леденёв. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 224 с.
52. **Леденёв, В. В.** Расчёт буронабивных фундаментов : монография / В. В. Леденёв, Тью Тхи Хоанг Ань. – Тамбов : ТГТУ, 2015. – 284 с.
53. **Металлические** конструкции : в 3 т. Справочник проектировщика / под ред. В. В. Кузнецова. – М. : АСВ, 1998, 1999.
54. **Методика** районирования теории Москвы для строительства объектов с заглублёнными основаниями / В. И. Осипов, В. И. Кутенов, Н. Г. Анисимова и др. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2010. – № 4. – С. 8 – 14.
55. **Михайлов, В. В.** Предварительно напряжённые комбинированные стержневые вантовые конструкции : учебное пособие / В. В. Михайлов. – М. : АСВ, 2002. – 256 с.
56. **Морозов, Н. Ф.** Математические вопросы теории трещин / Н. Ф. Морозов. – М. : Наука, 1984. – 255 с.
57. **Мулюков, Э. И.** Статистический анализ и вероятностный прогноз отказов оснований и фундаментов. Отказы в геотехнике : сб. статей / Э. И. Мулюков. – Уфа : 1999. – С. 5 – 97.
58. **Нащинцев, Е. А.** Устойчивость деформирования плоской системы на базе инкрементальной модели : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. А. Нащинцев. – Тула : ТГУ, 2015. – 19 с.
59. **Николаев, С. В.** Проектирование котлованов и фундаментов / С. В. Николаев, С. А. Копбаев // Современное высотное строительство. – М. : ГУП «ИТЦ Мосархитектуры», 2007. – 440 с.
60. **Николаева, Е. А.** Основы механики разрушения : учебное пособие / Е. А. Николаева, Г. Л. Колмогоров – Пермь : Наука, 2010. – 103 с.
61. **Овчинников, И. И.** Механика конструкций с повреждениями: нелинейные модели и методы определения долговечности конструкций, работающих в агрессивных средах / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников // Вестник центрального регионального отделения РААСН. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – С. 120 – 127.
62. **Методика** районирования территории г. Москва для строительства объектов заглублёнными основаниями / В. И. Осипов, В. М. Кутенов,

Н. Г. Анисимова и др. // Основания, с фундаменты и механика грунтов. – 2010. – № 4. – С. 8 – 14.

63. **Осипов, В. И.** Геологические условия градостроительного развития г. Москва / В. И. Осипов, В. М. Кутепов, В. И. Макаров // Уникальные технологии в строительстве. – 2006. – № 1(4). – С. 10 – 22.

64. **Пангаев, В. В.** Развитие расчётно-экспериментальных методов исследования прочности кладки каменных конструкций : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Пангаев. – Новосибирск, 2009. – 35 с.

65. **Партон, В. З.** Механика разрушения: от теории к практике / В. З. Партон. – М. : Наука, 1990. – 240 с.

66. **Партон, В. З.** Механика упругопластического разрушения : монография / В. З. Партон, Е. И. Морозов. – М. : Наука, 1985. – 504 с.

67. **Партон, В. З.** Механика упругопластического разрушения. Ч. 1. Основы механики разрушения : монография / В. З. Партон, Е. М. Морозов. – М. : ЛКИ, 2008. – 352 с.

68. **Перельмутер, А. В.** Расчётные модели сооружений и возможность их анализа : учебное издание / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М. : СКАД СОФТ, 2011. – 736 с.

69. **Петров, В. В.** Деформирование элементов конструкций из нелинейно разномодульного неоднородного материала / В. В. Петров, И. Г. Овчинников, В. К. Иноземцев. – Саратов : СГУ, 1989. – 160 с.

70. **Плевков, В. С.** Железобетонные и каменные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений : учебное пособие / В. С. Плевков, А. И. Мальгинов, И. В. Валодин. – Томск : Изд-во ТГАСУ, 2006. – 290 с.

71. **Плевков, В. С.** Оценка технического состояния, восстановление и усиление строительных конструкций инженерных сооружений : учебное пособие / В. С. Плевков, И. В. Балдин. – М. : АСВ, 2011. – 313 с.

72. **Подземное строительство : учебное пособие / А. Б. Пономарев, Ю. Л. Винников. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 262 с.**

73. **Поляков, С. В.** Сейсмостойкие конструкции зданий : учебное пособие / С. В. Поляков. – М. : Высшая школа, 1983. – 304 с.

74. **Потапова, Л. Б.** Механика материалов при сложном напряжённом состоянии. Как прогнозируют предельные напряжения : монография / Л. Б. Потапова, В. П. Ярцев. – М. : Машиностроение, 2005. – 244 с.

75. **Мустакимов, В. Р.** Проектирование высотных зданий : учебное пособие / В. Р. Мустакимов, С. Н. Якупов. – Казань : Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2014. – 243 с.

76. **Купцов, И. П.** Проектирование и строительство тепловых электростанций / И. П. Купцов, Ю. Р. Иоффе. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 405 с.

77. **Прохожев, Н. О.** Тенденции архитектурного освоения лёгких металлоконструкций в жилищном строительстве / Н. О. Прохожев // Научные исследования и инновации-2021. – № 8.

78. **Пушкарев, Б. А.** Противодействие прогрессирующему разрушению каркаса высотных зданий / Б. А. Пушкарев // Обзор состояния. – 2009. – № 3 – С. 38 – 41.
79. **Пшеничкин, А. П.** Практический метод расчёта конструкций на стохастическом основании / А. П. Пшеничкин // Надёжность и долговечность строительных конструкций. – Волгоград, 1974. – С. 6 – 26.
80. **Рабинович, Ф. Н.** Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции : монография / Ф. Н. Рабинович. – М. : АСВ, 2004. – 560 с.
81. **Работнов, Ю. Н.** Ползучесть элементов конструкций : научное издание / Ю. Н. Работнов. – М. : Наука, 1966. – 752 с.
82. **Радионов, Б. Н.** Защита высотных зданий и сооружений от ветров и сейсмических нагрузок / Б. Н. Радионов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – № 5 – С. 76 – 79.
83. **Райзер, В. Д.** Теория надёжности сооружений : научное издание / В. Д. Райзер. – М. : АСВ, 2010. – 384 с.
84. **Расчётные модели** для проектирования конструкций и зданий : монография / В. В. Леденёв, П. В. Монастырев, Г. М. Куликов, С. В. Плотникова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 296 с.
85. **Ржаницын, А. Р.** Теория ползучести / А. Р. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1968. – 416 с.
86. **Рыбаков, В. А.** Основы строительной механики лёгких стальных тонкостенных конструкций : учебное пособие / В. А. Рыбаков – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 207 с.
87. **Сафронов, В. С.** Надёжность несущего каркаса реконструируемого производственного здания при перепрофилировании / В. С. Сафронов, Д. Т. Чан // Строительная механика и конструкции. – 2016. – № 1(10). – С. 54 – 64.
88. **Современное** высотное строительство : монография. – М. : ГУП «ИТЦ Москомархитектуры», 2007. – 400 с.
89. **Сорочан, Е. А.** Фундаменты промышленных зданий / Е. А. Сорочан. – М. : Стройиздат, 1986. – 330 с.
90. **СП 53-102-2004.** Общие правила проектирования стальных конструкций. – М. : ОАО «ЦПП», 2008. – 131 с.
91. **Диченко, П. М.** Справочник проектировщика электрических сетей и подстанций / П. М. Диченко. – Киев : Государственное издательство технической литературы УССР, 1963. – 708 с.
92. **Справочник** по коэффициентам интенсивности напряжений : в 2-х т. / под ред. Ю. Мураками ; пер. с англ. – М. : Мир, 1990. – 1462 с.
93. **СТО 008-02495342-2009.** Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. – М. : ОАО «ЦНИМ-Промиздат», 2009. – 21 с.

94. **Строительство** атомных электростанций : учебник для вузов / И. А. Енговатов, В. Б. Дубровский и др. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. – 368 с.
95. **Ерахин, Б. М.** Строительство гидроэлектростанций в России : учебно-справочное пособие для вузов и инженеров гидростроителей / Б. М. Ерахин, В. М. Ерахин. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 732 с.
96. **Строительство** тепловых и атомных электростанций : в 2-х т. Т. I / Н. Я. Турчин, Г. С. Агеев. И. А. Алексеев и др. ; под ред. П. С. Непорожного. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 572 с. – (Справочник строителя).
97. **Тамразян, А. Т.** Ресурс живучести – основной критерий проектных решений высотных зданий / А. Т. Тамразян // Высотное строительство. – 2010. – № 1. – С. 10–11.
98. **Технические** рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролётных, высотных и других уникальных зданий и сооружений. ТР 182-08. – М. : ООО «УИЦ «ВЕК», 2006. – 26 с.
99. **Управляемые** конструкции и системы [Электронный ресурс] : конспект лекций / Н. П. Абовский, А. В. Максимов, Н. И. Марчук и др. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009.
100. **Черепанов, Г. П.** Механика разрушения: монография / Г. П. Черепанов. – Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2012. – 872 с.
101. **Черепанов, Г. П.** Механика хрупкого разрушения / Г. П. Черепанов. – Наука, 1974. – 640 с.
102. **Шапиро, Д. М.** Метод конечных элементов в строительном проектировании : монография / Д. М. Шапира. – Воронеж : Изд-во «Научная книга», 2013. – 181 с.
103. **Шукле, Л.** Реологические проблемы механики грунтов : монография / Л. Шукле ; пер. с англ. – М. : Мир, 1978. – 485 с.
104. **Энгель Хайно.** Несущие системы / Энгель Хайно. – М. : АСТ : Астреля, 2007. – 344 с.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Аксиома – положение, являющееся исходным и из которого по установленным правилам выводятся другие положения.

Живучесть – свойство системы при катастрофических воздействиях сохранять способность выполнять заданные функции.

Закон – объективная, существенная, внутренняя, необходимая и устойчивая связь между явлениями и процессами. Выделяют законы природы, общества, мышления и познания. По объёму действия законы подразделяются на всеобщие, общие и частные.

Закономерность – совокупность действия многих законов; система существенно необходимых общих связей, каждая из которых составляет отдельный закон.

Идея – новое интуитивное объяснение события или явления; определяющее стержневое положение в теории.

Коррозионное растрескивание – вид квазихрупкого разрушения стали и высокопрочных алюминиевых сплавов при одновременном воздействии статических напряжений растяжения и агрессивных сред.

Коррозионная усталость – вид квазихрупкого разрушения материалов при одновременном воздействии циклических напряжений и жидких агрессивных сред.

Линейно деформируемые тела – тела, которые не восстанавливают деформации при разгрузке. Границей линейного деформирования является предел текучести в соответствии с уравнениями Мора–Кулона или Мизеса–Шлейхера–Боткина.

Мониторинг – слежение за техническим состоянием строящихся, эксплуатируемых, реконструируемых объектов. Так, в МГНС 4.19–2005 указано, в высотном здании должна функционировать стационарная станция мониторинга деформационного состояния несущих конструкций. Выявляются места накопления повреждений. Используются автоматические сканирующие геодезические тахеометрии, лазерные сканеры и другое высокоточное оборудование для фиксации пространственного положения здания.

Особые нагрузки – сейсмические и взрывные воздействия. Нагрузки, возникающие в процессе монтажа конструкций, связанные с поломкой технологического оборудования или связанные с деформациями основания в связи с изменениями структуры грунта (просадочные грунты, осадка грунтов в карстовых районах и над подземными выработками).

Пластичность – свойство твёрдых тел под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры и сохранять остаточные (пластические) деформации после устранения этих сил. Отсутствие или малое значение пластичности называется хрупкостью.

Положение – научное утверждение, сформированная мысль.

Принцип – руководящая идея, основное исходное положение теории.

Предельные гибкости стержней – λ_u приведены в нормах в зависимости от назначения стержня и стенки по загруженности. Гибкие стержни легко искривляются от случайных воздействий, провисают от собственной массы, вибрируют, в них появляется эксцентриситет.

Предельный риск аварии – риск, при достижении которого физический (конструкционный) износ объекта становится предельным, и способность несущего каркаса сопротивляться действующим нагрузкам практически исчерпывается.

Программное движение механической системы – движение с заданными кинематическими свойствами (траектории движения; условия, наложенные на скорости частиц системы; закон движения...).

Прогрессирующее обрушение – обрушение несущих конструкций на нескольких этажах здания или на одном этаже на площади более 80 м², возникающее в результате локального разрушения.

Прогрессирующее разрушение – последняя лавинообразная стадия развивающегося во времени кинетического процесса последовательного накопления повреждений или деформаций структурных элементов объекта, приводящих к потере общей устойчивости и геометрического неизменяемости в целом.

Срок службы – период времени планируемой безотказной эксплуатации объекта при гарантируемой надёжности и безопасности.

Срок существования – время от начала эксплуатации до наступления отказа.

Статический способ определения предельной несущей способности (основан на статической предельной теории) – если для статически неопределимой системы, находящейся под воздействием внешних сил, существует хотя бы одно статически допустимое поле распределения внутренних сил, при котором ни одно из усилий не превышает предельной величины,

выполняется условие статического равновесия, то соответствующая этому полю распределяющая усилий нагрузка будет меньше или равна разрушающей нагрузке.

Стационарные наблюдения – комплекс инженерно-технических мероприятий, предназначенный для изучения динамики развития опасных геологических процессов (карст, оползни, обвалы, солифлюкция, сели, каменные глетчеры, геодинамические и криогенные процессы, переработка берегов рек, озёр, морей и водохранилищ, выветривание пород и др.); развития подтопления, деформации подработанных территорий, осадок просадок территории, в том числе и вследствие сейсмической активности; изменений состояния и свойств грунтов, уровня, температурного и гидрохимического режима подземных вод, глубин сезонного промерзания и протаивания грунтов; осадки, набухания и других изменений состояния грунтов основания фундаментов зданий и сооружений, состояния сооружений инженерной защиты и др.

Стационарные установившиеся колебания – колебания механической системы, при которых все параметры колебательного процесса остаются неизменными во времени.

Стойкость здания против прогрессирующих обрушений – время, в течение которого здание в целом сопротивляется воздействиям опасных факторов, без потери общей устойчивости и геометрической неизменяемости, определяется стойкостью его основных конструкций.

Строительная экология – наука о создании благоприятной среды обитания человека в условиях города. Основной задачей данной науки является снижение процессов разрушения биосферы.

Суждение – мысль, в которой что-то утверждается или отрицается.

Технический мониторинг – специально организованное, систематическое длительное наблюдение с использованием технических средств за состоянием конструкций в процессе строительства, эксплуатации с целью оценки фактической работы конструкций и контроля их качества, оценки соответствия проектным решениям и нормативным требованиям, обеспечения обратной связи для предупреждения и устранения последствий негативных процессов.

Технический надзор – комплекс технических мероприятий, включающий систематические осмотры и обследования строительных конструкций, проверку условий их функционирования в целях своевременного выявления дефектов и повреждений, оценки степени их износа, определения объёмов и видов ремонтных работ.

Технический регламент – документ, который принят между народным договором Российской Федерации, ратифицированным в порядке, установ-

ленным законодательством Российской Федерации, или федеральным законом, или указом Президента Российской Федерации, или постановлением Правительства Российской Федерации и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации).

Технический ремонт здания (сооружения, оборудования, коммуникаций, объектов жилищно-коммунального назначения) – ремонт, выполняемый для восстановления исправности или работоспособности здания (сооружения, оборудования, коммуникаций, объектов жилищно-коммунального назначения), частичного восстановления его ресурса с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры в объёме, установленном нормативной и технической документацией.

Техническое состояние – совокупность подверженных изменению в процессе эксплуатации свойств здания (сооружения), характеризующихся в определённый момент времени признаками и параметрами состояния, установленными технической документацией.

Техногенные воздействия – опасные воздействия, являющиеся следствием аварий в зданиях, сооружениях или на транспорте, пожаров, взрывов или высвобождения различных видов энергии, а также воздействия, являющиеся следствием строительной деятельности на прилегающей территории.

Технологические осадки – осадки фундамента здания в результате выполнения геотехнических работ.

Технологическое старение – несоответствие современным технологическим требованиям.

Технология – совокупность научно-технических знаний, процессов, материалов и оборудования, которые могут быть использованы при разработке, производстве или эксплуатации продукции.

Уникальное здание (сооружение) – объект капитального строительства, в проектной документации которого предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик: высота более 100 м, пролёты более 100 м, наличие консоли более 20 м, заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки более чем на 15 м, с пролётом более 50 м или со строительным объёмом более 100 тыс. м³ и с одновременным пребыванием более 500 человек.

Управление качеством – разработка и выполнение мероприятий по устранению причин неудовлетворительного исполнения.

Усталостное изнашивание или контактная усталость – процесс накопления повреждений и развития разрушения поверхностных слоёв мате-

риала под действием переменных контактных нагрузок, вызывающих образование ямок выкрашивания или трещин. Этот вид изнашивания, связанный с локальным разрушением поверхности, проявляется только через некоторое время работы деталей, особенно при трении качения или качения с проскальзыванием, когда контакт деталей является сосредоточенным (шарики и роликоподшипники, зубья шестерён и т.д.).

Усталостное разрушение – разрушение арматуры под действием повторно-переменных (часто циклических) напряжений.

Усталостные явления в материале – изменение механических и физических свойств материала под длительным действием циклических изменяющихся во времени напряжений и деформаций (Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федер. закон № 381-ФЗ). Это может привести к разрушению при меньших напряжениях, чем временное сопротивление и даже предел текучести.

Усталость материала – процесс постепенного накопления повреждений, приводящий к окончательному разрушению. Различают малоцикловую усталость, которой соответствует большее значение разрушающих напряжений при сравнительно небольшом числе циклов нагружения ($<10^5$) и многоцикловую усталость ($N > 10^5$).

Устойчивость – способность сооружений сохранять своё первоначальное положение и соответствующую нагрузке первоначальную форму равновесия в деформационном состоянии, всегда пребывать при любых малых посторонних возмущениях близко к исходному невозмущённому состоянию и возвращаться к нему в упругой стадии полностью, а в упругопластической, как правило, частично, если случайные причины, вызвавшие возмущение сооружения, исчезнут.

Экологические требования – требования, направленные на обеспечение рационального природопользования, охрану окружающей среды, защиту здоровья и генетического фонда человека.

Эмпирическое обобщение – система определённых научных фактов.

ВАНТОВЫЕ МОСТЫ

Живописный (вантовый) мост через Москву-реку

Живописный мост представляет собой комбинированную систему, состоящую из несущей, перекрывающей русло реки, арки и подвешенной к ней на вантах балки жёсткости с главным пролётом 409,5 м.



Рис. Б.1. Живописный (вантовый) мост через Москву-реку

При этом балка жёсткости и соответственно проезжая часть моста практически располагаются вдоль русла реки. Данное решение отвечало повышенным архитектурным требованиям в районе массовой застройки и зоне отдыха.



Рис. Б.2. Схема Живописного (вантового) моста через Москву-реку

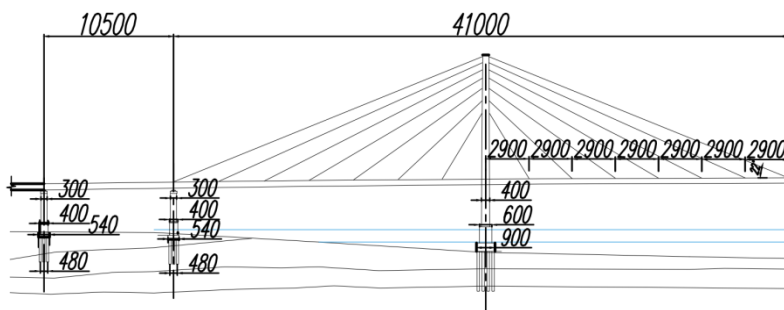


Рис. Б.3. Схема Живописного (вантового) моста через Москву-реку

Поперечное сечение пролётных строений состоит из шести металлических коробчатых балок:

- средние блоки прямоугольной формы, крайние – трапециевидные обтекаемой формы. Блоки объединены ортотропной плитой понизу и поперечными связями – поверху. Высота блоков 4,5 м;
- центральное пролётное строение длиной 410 м через систему вант поддерживается пространственной решётчатой аркой – пилоном, под прямым углом пересекающей ось пролётного строения. Пролёт арки 182 м, высота 90 м, в том числе от проезжей части – 70 м.

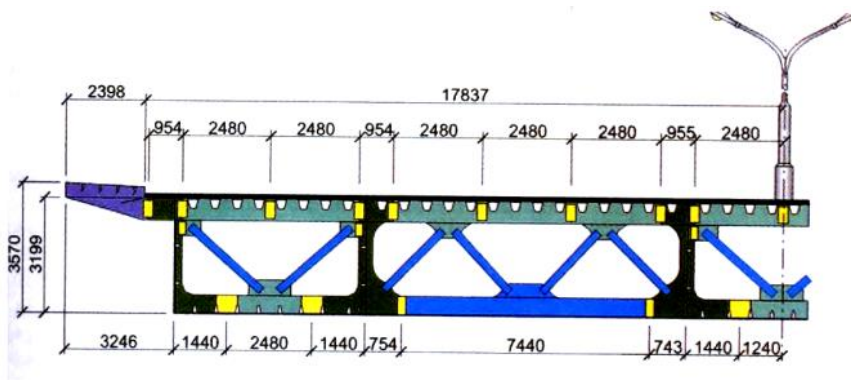


Рис. Б.4. Балка жёсткости Живописного (вантового) моста через Москву-реку

Сечения элементов арки выполнены в виде сварных коробчатых профилей, подкреплённых внутренними продольными рёбрами и поперечными диафрагмами. Арка опирается на мощные железобетонные фундаменты, состоящие из массивного тела и буронабивных свай диаметром 1,5 м, длиной до 30 м, заделанных в прочный известняк.

К арке крепятся ванты из оцинкованных закрытых канатов сечением 75...100 мм. Ванты расположены в три ряда: по оси пролётного строения и по его краям, образуя криволинейные поверхности.

Опоры моста в поперечном сечении состоят из четырёх монолитных железобетонных столбов диаметром 2,6 м, опирающихся через плиту ростверка на буронабивные сваи диаметром 1,5 м.

Заданием предусмотрено размещение под аркой смотровой площадки – зала ресторана размером 33×24 м в плане, что потребовало введения в конструкцию арки и фундаментов опор специальных архитектурно-технических решений, а также мероприятий по антивибрационным воздействиям на подвешиваемую конструкцию ресторана.



Рис. Б.5. Конструкция арки Живописного (вантового) моста



Рис. Б.6. Вид на Большой обуховский мост

Вантовый неразводной мост через Неву расположен на границе Невского района Санкт-Петербурга и Всеволожского района Ленинградской области, в среднем течении Невы; соединяет проспект Обуховской Обороны и Октябрьскую набережную. Один из самых длинных мостов России. Первый неразводной мост через Неву, самый большой мост в Санкт-Петербурге по величине перекрываемого пролёта (382 м), а также крупнейший мост через Неву. Фактически это два одинаковых моста с противоположным направлением движения по ним, имеющих общее название: расположенный выше по течению Невы (южный) – для езды в восточном направлении, ниже по течению (северный) – для езды в западном направлении.



Рис. Б.7. Вид с пилона моста на дорожное полотно и ванты



Рис. Б.8. Вид на небесный мост Лангкави в Малайзии

Пешеходный мост Лангкави находится на острове Лангкави в Малайзии. Это уникальный изогнутый вантовый пешеходный мост, подвешенный на тросах на 700-метровой высоте над уровнем моря, шириной 1,8 м и протяжённостью 125 м над впечатляющей пропастью. С него открывается великолепный, захватывающий дух вид на горы, зелёные джунгли, Андаманское море и острова.



Рис. Б.9. Опора небесного моста

Мост держится на одной единственной наклонной опоре и фактически подвешен над огромной пропастью. На соседних скалах закреплено восемь прочных тросов, стабилизирующих мост.

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Строительство зданий и сооружений из дерева является одним из основ экологического строительства как постиндустриального этапа развития архитектурно-строительной отрасли, с одной стороны, так и важной составляющей понятия «устойчивое развитие», с другой.

По мнению В. Д. Елиной, деревянное строительство вносит свой вклад в устойчивое строительство. Устойчивое строительство – это концепция зданий, которая сводит к минимуму вредное воздействие на окружающую среду и человека во время всего жизненного цикла, начиная от проектной стадии и заканчивая утилизацией.

Деревянное строительство – это ещё и «экологическое строительство» – один из самых актуальных мировых трендов, пришедших в архитектурно-строительную отрасль за последнее десятилетие и одновременно – важная составляющая понятия «устойчивое развитие».

Экологическое строительство – это вид строительства и эксплуатации зданий с минимальным воздействием на окружающую среду, целью которого является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего эксплуатационного цикла здания. Базовым для экологического строительства является такой процесс, когда эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций и инноваций, формирование личности согласуются друг с другом и совместно работают на нынешний и будущий потенциал поколений.

С появлением новых технологий строительства определение деревянного дома становится расплывчатым. Таким образом, деревянный дом – это дом с деревянным каркасом и деревянными стенами, выполненные из брёвен, массивной древесины, обычного клеёного и профильного бруса, каркасной технологии. Остальные различные варианты следует называть «дома с элементами деревянных конструкций и материалов из дерева».

Рассмотрим достоинства и недостатки.

Достоинства:

- стабильность формы (исключение деформаций) готового изделия в процессе изготовления и эксплуатации;
- возможность изготовления конструкций больших размеров (до 60 м в длину);
- минимальная усадка при применении в срубах домов, высокая огнестойкость;
- отсутствие сквозного растрескивания;
- высокая теплоизоляция в сравнении с цельной древесиной;
- прочность и долговечность;
- «мебельное» качество поверхностей;

- содержание клея ничтожно мало в сравнении с OSB, LVL, ДСП, фанерой;

Недостатки:

- относительно высокая начальная стоимость в сравнении с материалами из цельной древесины;
- нарушение технологии при изготовлении и применение некачественного клея может привести к расслоению клеёного бруса, деформации, потере теплоизоляционных, экологических и эстетических качеств.

Примеры деревянных зданий и сооружений по всему миру

Европа:

Дом Сибелиуса в Лахти (Финляндия) – самый крупный в Северной Европе концертный зал и конгресс-холл из древесины – Зал Сибелиуса (фин. Sibeliusstalo, арх. Раймо Рясанен).



Рис. В.1. Дом Сибелиуса в Лахти внутри и снаружи

Центр Помпиду-Мец (Франция) – музей современного искусства в городе Мец.



Рис. В.2. Центр Помпиду-Мец ночью

Зал заседаний Парламента Ассамблеи Совета Европы в Страсбурге (Франция).



Рис. В.3. Внутренняя архитектура зала

Здание детского сада в Гунстрамдорфе (Австрия).



Рис. В.4. Фасад детского сада

Россия:
Дворец Деда Мороза в Великом Устюге (Вологодская обл.).



Рис. В.5. Резиденция Деда Мороза

Троице-Измайловский собор (Санкт-Петербург) – сложные конструкции из клеёного бруса использовались при реконструкции большого купола собора.

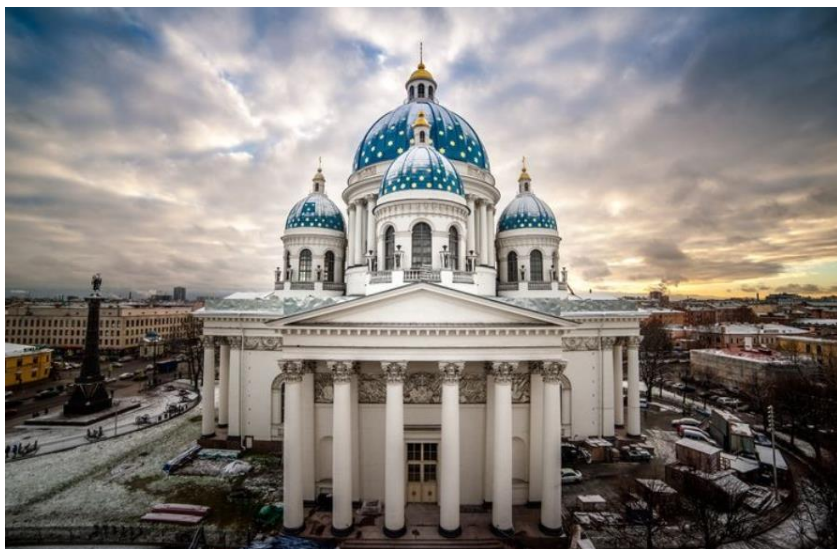


Рис. В.6. Троице-Измайловский собор

Общественный центр «Липки» (Москва 1989 г.)
Несущие конструкции – клеёные деревянные.



Рис. В.7. Часть клеёных деревянных конструкций центра «Липки»

САМЫЕ ВЫСОКИЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ МИРА

1 место – Бурдж-Халифа, ОАЭ, 828 м



Рис. Г.1. Башня Бурдж-Халифа

Инженерное чудо Объединённых Арабских Эмиратов – башня Бурдж-Халифа, без сомнения, является одной из главных достопримечательностей ОАЭ. Это здание по праву носит титул высочайшего из завершённых строителем: его ввели в эксплуатацию восемь лет назад. Те, кто решил отдохнуть в Дубае, считают своим долгом увидеть этот небоскрёб высотой 828 м своими глазами.

2 место – KL118, Малайзия, 643 м



Рис. Г.2. KL118

Большинство путеводителей характеризуют Куала-Лумпур как молодой динамично-развивающийся город с множеством интересных мест. На третьей строчке нашего рейтинга располагается небоскрёб высотой 643 м.

3 место -Tokyo Skytree, Япония, 634 м



Рис. Г.3. Tokyo Skytree в подсветке «Мияби»

В июле 2011 года всё телевидение Японии должно было перейти в цифровой формат, но Телевизионная башня Токио оказалась недостаточно высока для того, чтобы осуществлять передачу на верхние этажи некоторых небоскрёбов. По этой причине была построена более высокая башня.

4 место – Шанхайская башня, Китай, 632 м



Рис. Г.4. Шанхайская башня

Именно этот небоскреб несколько лет считался самым высоким в Китае: работы на стройплощадке были завершены в 2015 году. На данный момент Шанхайская башня представляет собой не только шедевр архитектурной и инженерной мысли, но и многофункциональный комплекс. В здании работают многочисленные офисы и бутики, магазины и гостиницы, а также промышленные зоны. Не обошлось современное строение без парковок и высо-

котехнологичных инженерных систем. Для поддержания комфортного микроклимата в высотке используется геотермальная энергия.

Интересный факт, план строительства Шанхайской башни утвердили ещё в далёком 1993 году, но провести торги по выбору подрядчиков удалось лишь тринадцать лет спустя.

5 место – Телерадиомачта KVLV-TV, США, 629 м



Рис. Г.5. Телерадиомачта KVLV-TV

Телерадиомачта KVLV-TV – телерадиомачта в городе Бланшар, Северная Дакота, США. Высота – 628 м. Аналоговый передатчик расположен на высоте 610 м, цифровой – на высоте 576 м.

Телерадиомачта построена в 1963 году строительной компанией «Хэмилтон электрик компани». Строительство обошлось в 500 000\$. С 1963 года по 1974 год была самым высоким сооружением в истории человечества. В 1974 году этот титул был отобран Варшавской радиомачтой. В 1991 году, когда Варшавская радиомачта рухнула, «KVLV-TV» вновь стал самым высоким сооружением. Это достижение сохранялось за ним на протяжении 17 лет, пока в 2008 году Дубайский небоскрёб Бурдж-Халифа во время строительства не отобрал этот титул. В 2011 году Небесное дерево Токио отобрало титул второго по высоте сооружения.

6 место –Антенна KRDK-TV mast, США, 627,8 м



Рис. Г.6. KRDK-TV mast

Это второе по высоте сооружение в США после мачты KVLV-TV. Расположено 3,5 мили (6 км) к северо-востоку от Галесберга, Северная Дакота, он был завершён в 1966 году для замены предыдущей мачты станции, 1085-футовой (331 м) башни в 15 милях (25 км) к северо-востоку от Вэлли-Сити, Северная Дакота (или к юго-западу от Пиллсбери), который был продан KOVC, AM радиостанции.

Антенна передаёт на 285 кВт, эффективная излучаемая мощность для KRDK-TV (ранее KXJB-TV) в Вэлли-Сити. Станция и башня принадлежат компании Major Market Broadcasting.

7 место – Мачта KXTV/KOVR tower, США, 624,5 м

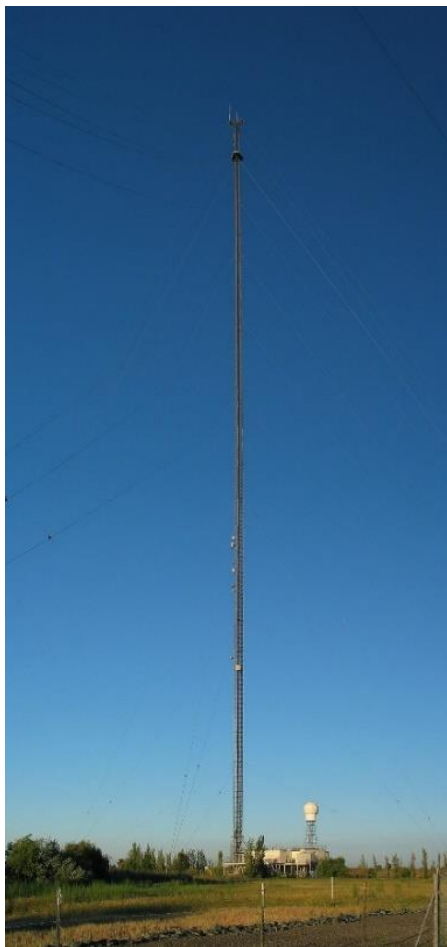


Рис. Г.7. KXTV/KOVR tower

Построенное в 1986 году, это самое высокое сооружение в Калифорнии, третья по высоте мачта с оттяжками в мире (по состоянию на 2001 год) и седьмое по высоте сооружение из когда-либо существовавших, если не считать разрушенной радиомачты в Варшаве, небоскрёба Бурдж-Халифа в Дубае, включены в список Шанхайская башня в Шанхае и Токийское небесное дерево в Токио.

8 место – Телебашня Гуанчжоу, Китай, 604 м



Рис. Г.8. Вид на телебашню с набережной

Вторая по высоте телебашня в мире. Построена в 2005 – 2009 годах компанией ARUP к Азиатским играм 2010 года. Высота телебашни составляет 600 м. До высоты 450 м башня возведена в виде комбинации гиперболоидной несущей сетчатой оболочки и центрального ядра. Гиперболоидная конструкция сетчатой оболочки телебашни Гуанчжоу соответствует патенту 1899 года русского инженера В. Г. Шухова.

9 место – Makkah Royal Clock Tower Hotel, Саудовская Аравия, 601 м



Рис. Г.9. Makkah Royal Clock Tower Hotel

Расположившаяся на шестом месте ТОП-10 высотка интересна не только своими выдающимися габаритами, но и архитектурой. В отличие от своих соседей по рейтингу Makkah Royal Clock Tower Hotel высотой 601 м не выглядит как здание из фантастического фильма и совсем не напоминает типичный небоскрёб, который можно встретить практически в любом мегаполисе.

Дизайн этого сооружения в Мекке привлекает внимание, во многом благодаря внушительного размера фронтальным часам, которые признаны самыми крупными в мире. Сегодня в этом здании размещается отель, торговые центры, рестораны и офисы. Кстати, на его строительство было потрачено свыше 15 миллиардов долларов, что делает его одним из самых дорогих небоскребов на Земле.

10 место – Финансовый центр Пинань, Китай, 599,1 м



Рис. Г.10. Финансовый центр Пинань

Комплекс из двух высоток расположен в городе Шэньчжэнь, но только одно из этих строений регулярно попадает в список наиболее значимых небоскрёбов мира. Возведение многоэтажек завершилось несколько лет назад, и до сих пор финансовый центр Пинань считается одним из трёх высочайших сооружений на территории КНР.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лекция 1 СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ	4
Лекция 2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ	9
Лекция 3 КОНСТРУКЦИИ И КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ	19
Лекция 4 ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА	32
Лекция 5 ВОЗВЕДЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	48
Лекция 6 НАДЁЖНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	72
Лекция 7 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ	92
Лекция 8 ОБОСНОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ	104
Лекция 9 ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НДС ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	115
Лекция 10 ПРОБЛЕМЫ ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА	128
Лекция 11 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ	144
Лекция 12 ЭКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ–СООРУЖЕНИЕ»	157
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	175
ПРИЛОЖЕНИЯ	182

Учебное электронное издание

ЛЕДЕНЁВ Виктор Васильевич
УМНОВА Ольга Владимировна
АНТОНОВ Василий Михайлович

ТЕОРИЯ РАСЧЁТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие

Редактор Л. В. Комбарова
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова
Обложка, упаковка, тиражирование Л. В. Комбарово

ISBN 978-5-8265-2576-0



9 785826 525760

Подписано к использованию 18.05.2023.
Тираж 50 шт. Заказ № 35

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru