

А. В. ХУДЯКОВ

**ОЦЕНКА И ПОВЫШЕНИЕ
НАДЕЖНОСТИ,
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
И СРОКА СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

А. В. ХУДЯКОВ

**ОЦЕНКА И ПОВЫШЕНИЕ
НАДЕЖНОСТИ,
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
И СРОКА СЛУЖБЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Утверждено Ученым советом университета в качестве учебного пособия
для студентов 1, 2 курсов направления подготовки
08.04.01 «Строительство» всех форм обучения

Учебное электронное издание



Тамбов

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»

2024

УДК 624(075.8)
ББК Н5-028я73
Х98

Рецензенты:

Кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой строительства,
энергетики и транспорта ФГАОУ ВО «МАУ»
А. А. Челтыбашев

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Городское строительство и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «ТГТУ»
К. А. Андрианов

Худяков, А. В.

Х98 Оценка и повышение надежности, технического состояния и срока службы строительных конструкций [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Худяков. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 1,8 Мб ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2836-5

Рассмотрены методы оценки надежности, повышения долговечности и срока службы строительных конструкций зданий и сооружений, прогнозирования аварий, определение несущей способности стальных конструкций после коррозионных поражений.

Предназначено для студентов 1, 2 курсов направления подготовки 08.04.01 «Строительство» всех форм обучения, а также будет полезно работникам служб, занимающихся эксплуатацией зданий и сооружений, проектировщикам, специалистам по оценке недвижимости, контролю качества строительных конструкций.

УДК 624(075.8)
ББК Н5-028я73

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

ISBN 978-5-8265-2836-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2024

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время к объектам капитального строительства предъявляется ряд требований, среди которых, помимо функциональных требований, основное место занимают надежность и безопасность.

Эти вопросы в последние годы находятся в центре внимания архитекторов и инженеров. Прежде всего, это связано с участившимися случаями аварий на строительных объектах, которые наносят значительный экономический ущерб и нередко сопровождаются гибелью людей, поэтому главной задачей при строительстве и эксплуатации зданий и инженерных сооружений является обеспечение надежности, гарантирующей их безопасность.

Строительные конструкции должны быть запроектированы таким образом, чтобы они обладали достаточной надежностью при возведении и эксплуатации, с учетом, при необходимости, особых воздействий (например, в результате землетрясения, наводнения, пожара, взрыва). Основным свойством, определяющим надежность строительных конструкций, зданий и сооружений в целом, является безотказность их работы – способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы.

В настоящее время безопасность конструкции зданий и сооружений на стадии проектирования оценивается по предельным состояниям, которые характеризуются невозможностью или затруднениями в эксплуатации конструкций. Разрушение конструкций является следствием возникновения предельного состояния, которое привело к аварии.

Снижению надежности может предшествовать наступление неудовлетворительного состояния конструкций, при котором затрудняется дальнейшая их эксплуатация вследствие образования различных повреждений: недопустимых деформаций, трещин, колебаний, снижения долговечности и тому подобное.

С течением времени происходит накопление в конструкциях повреждений, вызывающих физический износ сооружения. Авария сооружения может быть предотвращена за счет своевременного обследования технического состояния

конструкций, правильной оценки их несущей способности, срока службы, проведения ремонтов и усиления конструкций. Время ремонта может быть назначено на основе прогнозирования снижения надежности сооружений и установления их безопасного уровня поврежденности.

Долговечность сооружения оценивается продолжительностью его работоспособного состояния при установленной системе ремонта. Долговечность определяется сроками службы основных конструкций. Особенно это заметно на предприятиях с сильным воздействием агрессивной среды. Она относится к комплексной характеристике качества строительных материалов, изделий и конструкций и выражается в их способности сопротивляться сложному воздействию внешних и внутренних факторов, проявляющихся в эксплуатационный период работы конструкции. О долговечности судят по продолжительности изменения до критических размеров прочности или деформационной устойчивости как ключевых свойств в отношении данной конструкции здания или сооружения.

То есть долговечность – это способность материала в течение определенного времени сохранять на допустимом уровне структурные параметры, сложившиеся в технологический период.

Вопросы качества и долговечности строительных конструкций как в техническом, так и в экономическом аспекте привлекают все большее внимание строителей. Очевидно, что во многих случаях экономически оправдано увеличение первоначальных затрат на изготовление конструкции, и ее надежную защиту, если это позволяет сократить число и стоимость ремонтов в процессе эксплуатации.

В особенности это относится к железобетонным конструкциям, в которых стальная арматура может быть хорошо защищена бетоном, а последнему можно придать значительную стойкость к воздействию среды.

Длительное и систематическое изучение стойкости разнообразных железобетонных конструкций в различных условиях эксплуатации показало, что наиболее опасны повреждения, вызываемые развитием коррозии арматуры, а их устранение чрезвычайно затруднительно.

1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

А) ОБЩИЕ ТЕРМИНЫ

Деградация свойств материала во времени – постепенное понижение уровня эксплуатационных свойств, процесс их изменения в сторону ухудшения при эксплуатации.

Долговечность – способность строительного объекта сохранять прочностные, физические, другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечении его нормальной эксплуатации в течение расчетного срока службы.

Здание – результат строительной деятельности, предназначенной для проживания и деятельности людей, размещения производства, хранения продуктов или содержания животных.

Надежность строительного объекта – способность выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации.

Нормальная эксплуатация – эксплуатация строительного объекта в соответствии с предусмотренными в нормах или заданиях на проектирование технологическими и бытовыми условиями, а также с предусмотренным техническим обслуживанием без капитального ремонта и реконструкции.

Основание – часть массива грунта, взаимодействующая с конструкцией сооружения, воспринимающая воздействия, передаваемые через фундамент и подземные части сооружения и передающие на сооружения техногенные и природные воздействия от внешних источников.

Отказ – состояние строительного объекта, при котором не выполняется одно или несколько предельных состояний.

Помещение – пространство внутри здания, имеющее определенное функциональное назначение и ограниченное строительными конструкциями.

Расчетный срок службы – установленный в строительных нормах или заданиях на проектирование период использования строительного объекта по назначению до капитального ремонта и реконструкции с предусмотренным техническим обслуживанием. Расчетный срок службы отсчитывается от начала эксплуатации объекта или возобновления его эксплуатации после капитального ремонта или реконструкции.

Срок службы – продолжительность нормальной эксплуатации строительного объекта с предусмотренным техническим обслуживанием и ремонтными работами до состояния, при котором дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна.

Строительная конструкция – часть строительного сооружения, выполняющая определенные несущие, ограждающие или эстетические функции.

Строительное изделие – изделие, предназначенное для применения в качестве элемента строительной конструкции сооружения.

Строительное сооружение – результат строительной деятельности, предназначенной для осуществления определенных потребительских функций.

Строительный материал – материал, предназначенный для создания строительных конструкций, зданий и сооружений и изготовления строительных изделий.

Строительный объект – строительное сооружение, здание, помещение, строительная конструкция, строительное изделие или основание.

Техническое обслуживание и технический ремонт – комплекс мероприятий, осуществляемых в период расчетного срока службы, обеспечивающих нормальную эксплуатацию.

Технический мониторинг – система наблюдений за состоянием конструкций в целях контроля их качества, оценки соответствия проектным решениям и нормативным требованиям, прогноза фактической несущей способности и прогнозирования на этой основе остаточного ресурса сооружений.

Технические условия – нормативный документ, устанавливающий технические требования, которым должны удовлетворять продукция, процесс или услуга.

Эксплуатация несущих конструкций объекта – комплекс мероприятий по поддержанию необходимой степени надежности конструкций в течение расчетного срока службы объекта в соответствии с требованиями норм.

Б) ТЕРМИНЫ РАСЧЕТНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Воздействия – нагрузки, изменение температуры, влияние на строительный объект окружающей среды, действие ветра, осадка оснований, смещение опор, деградация свойств материалов во времени и другие эффекты, вызывающие изменение напряженно-деформированного состояния строительных конструкций. При проведении расчетов воздействия допускается задавать эквивалентные нагрузки.

Гарантированные характеристики физико-механических свойств материалов и грунтов – значения физико-механических характеристик материалов и грунтов, устанавливаемые в нормативных документах или технических условиях и контролируемые при их изготовлении, при строительстве и эксплуатации строительного объекта.

Конструктивная система – совокупность взаимосвязанных строительных конструкций и основания, обеспечивающих его прочность, жесткость и устойчивость.

Нагрузки – внешние механические силы (вес конструкций, оборудования, снега, ветра и т.д.), действующие на строительное сооружение.

Нормативные характеристики физических свойств материалов – значения физико-механических характеристик материалов, устанавливаемые в нормативных документах или технических условиях и контролируемые при их изготовлении, при строительстве и эксплуатации строительного объекта.

Предельное состояние строительного объекта – состояние строительного объекта, при повышении характерных параметров которого эксплуатация строительного объекта недопустима, затруднена или нецелесообразна.

С 1955 года расчет всех строительных конструкций производится по методу предельных состояний. Под предельным понимают такое состояние конструкции, после достижения которого дальнейшая эксплуатация становится невозможной вследствие потери способности сопротивляться внешним нагрузкам и воздействиям или конструкции получают недопустимые перемещения или чрезмерно раскрытые трещины.

Строительные конструкции должны удовлетворять требованиям расчета по двум группам предельных состояний.

Предельные состояния I группы (группа непригодности к эксплуатации):

- потеря прочности или несущей способности вследствие разрушения или разрыва;
- потеря устойчивости;
- усталостное разрушение.

Предельные состояния II группы (группа непригодности к нормальной эксплуатации):

- чрезмерные прогибы или выгибы;
- образование и чрезмерное раскрытие трещин (для железобетонных конструкций).

Расчет по предельным состояниям конструкции производят для всех стадий: изготовление, хранение, транспортирование, монтаж и эксплуатация.

Прогрессирующее (лавинообразное) обрушение – последовательное разрушение несущих строительных конструкций и основания, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей.

Расчетная схема – модель строительной конструкции, используемая при проведении расчетов и наиболее точно отражающая ее работу.

Расчетная ситуация – учитываемый при расчете сооружений комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при их возведении и эксплуатации.

Коэффициенты надежности – коэффициенты, учитывающие возможные неблагоприятные отклонения возможных нагрузок, характеристик материалов и расчетной схемы строительного объекта от реальных условий его эксплуатации, а также уровень ответственности строительного объекта. Вводится 4 типа коэффициентов надежности:

- 1) γ_f – коэффициент надежности по нагрузке;
- 2) γ_m – коэффициент надежности по материалу;
- 3) γ_c – коэффициент условий работы;
- 4) γ_n – коэффициент надежности по назначению.

2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗДАНИЯМ И ИХ ЭЛЕМЕНТАМ

Здания образуют материально-пространственную среду для осуществления людьми различных социальных процессов быта, труда и отдыха. Поэтому они должны отвечать ряду требований, основные из них:

- функциональная (или технологичная) целесообразность, т.е. здание должно быть удобно для труда, отдыха или другого процесса, для которого оно предназначено;
- техническая целесообразность, т.е. здания должны быть прочными, устойчивыми, долговечными, надежно защищать людей и оборудование от вредных атмосферных воздействий, удовлетворять противопожарным требованиям;
- архитектурно-художественной выразительности, т.е. оно должно быть привлекательным по своему внешнему виду, благоприятно воздействовать на психологическое состояние и сознание людей;
- экономическая целесообразность, предусматривающая при минимальных затратах на постройку и эксплуатацию здания получения максимума полезной площади.

Основным в здании или помещении является его функциональное назначение.

Осуществление той или иной функции всегда сопровождается осуществлением какой-либо другой функции, имеющей подсобный характер. Например, учебные занятия в аудитории представляют главную функцию этого помещения, движение же людей при заполнении аудитории и после окончания занятий – подсобную. Следовательно, можно различить главные и подсобные функции. Главная функция для конкретного помещения в другом помещении может быть подсобной, и наоборот.

Помещение – основной структурный элемент или часть здания. Соответствие помещения той или другой функции достигается только тогда, когда в нем

создаются оптимальные условия для человека, т.е. среда, отвечающая выполняемой им в помещении функции.

Качество среды зависит от ряда факторов. К ним можно отнести:

- пространство, необходимое для деятельности человека, размещения оборудования и перемещения людей;

- состояние воздушной среды (микроклимат) – запас воздуха для дыхания с оптимальными параметрами температуры, влажности и скорости его движения. Состояние воздушной среды характеризуется также степенью чистоты воздуха, т.е. количеством содержания вредных для человека примесей (газов, пыли);

- звуковой режим – условия слышимости в помещении (речи, музыки, сигналов), соответствующие его функциональному назначению, и защита от мешающих звуков (шума), возникающих как в самом помещении, так и проникающих извне, и оказывающих вредное влияние на организм и психику человека;

- световой режим – условия работы органов зрения, соответствующие функциональному назначению помещения, определяемые степенью освещенности помещения;

- видимость и зрительное восприятие – условия для работы людей, связанные с необходимостью видеть плоские или объемные объекты в помещении.

Техническая целесообразность здания определяется решением его конструкций, которое должно находиться в полном соответствии с законами механики, физики, химии.

В соответствии с воздействием среды к зданию и его конструкциям предъявляется комплекс технических требований.

Прочность – способность здания в целом и отдельных его конструкций воспринимать внешние нагрузки и воздействия без разрушения и существенных остаточных деформаций.

Устойчивость (жесткость) – способность здания сохранять статическое и динамическое равновесие при внешних воздействиях здания, зависящая

от целесообразного размещения конструкций в соответствии с величиной и направлением нагрузок и от прочности их сопряжений.

Долговечность, означающая прочность, устойчивость и сохранность здания и его элементов во времени. Она зависит от:

- ползучести материалов, т.е. от процесса малых непрерывных деформаций, протекающих в материалах в условиях длительного воздействия нагрузок.

- морозостойкости материалов, т.е. от способности влажного материала противостоять многократному попеременному замораживанию и оттаиванию;

- влагостойкости материалов, т.е. их способности противостоять разрушающему действию влаги (размягчению, набуханию, короблению, расслоению, растрескиванию и т.д.);

- коррозиестойкости, т.е. от способности материала сопротивляться разрушению, вызываемому химическими и электрическими процессами;

- биостойкости, т.е. от способности органических строительных материалов противостоять действию насекомых и микроорганизмов.

Долговечность определяется предельным сроком службы зданий. Практических инженерных методов расчета долговечности зданий пока не создано, поэтому в строительных нормах и правилах здания по долговечности условно разделяются на три степени или три класса (КС-1 – пониженный, КС-2 – нормальный и КС-3 – повышенный) 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.

Основным условием надежности строительных объектов является выполнения требований (критериев) для всех учитываемых предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы.

1. Минимальные значения коэффициента надежности по ответственности

Класс сооружений	Уровень ответственности	Минимальные значения коэффициента надежности по ответственности
КС-3	Повышенный	1,1
КС-2	Нормальный	1,0
КС-1	Пониженный	0,8

Примечание. Для зданий высотой более 250 м и большепролетных сооружений (без промежуточных опор) с пролетом более 120 м коэффициент надежности по ответственности следует принимать не менее 1,2

В зависимости от класса сооружений при их проектировании необходимо использовать коэффициенты надежности по ответственности, минимальные значения которых приведены в табл. 1.

Для разных конструктивных элементов сооружений допускается устанавливать различные уровни ответственности и соответственно назначать различные значения коэффициента надежности по ответственности. Принятые проектные и конструктивные решения должны быть обоснованы результатами расчета по предельным состояниям сооружений в целом, их конструктивных элементов и соединений, а также, при необходимости, данными экспериментальных исследований, в результате которых устанавливают 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 надежных методов расчета, 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.

3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Материалы конструкций в зданиях и сооружениях подвергаются воздействию окружающей среды, которая оказывает на них разрушающее действие. В соответствии с этим каждый материал, кроме выполнения эксплуатационных функций, должен обладать свойствами, обеспечивающими надежность и долговечность сооружения. Надежность и долговечность материалов и конструкций при эксплуатации зданий и сооружений – важная научно-техническая проблема. Решение ее связано с изучением причин и механизмов разрушения материалов, поиском надежных способов предупреждения и защиты от разрушения отдельных элементов зданий и сооружений.

Долговечность сокращается при:

- неправильной эксплуатации зданий и сооружений;
- перегрузках конструкций;
- при резко выраженных разрушающих влияниях окружающей среды.

Наиболее жесткие требования по долговечности предъявляются к конструкционным материалам, работающим в экстремальных условиях: агрессивная среда, резкая смена температур и т.д. Для материалов несущих и ограждающих конструкций долговечность должна быть не менее срока службы здания и сооружения.

На долговечность материала влияют различные факторы, главными из которых являются параметры структуры, вид и интенсивность внешнего воздействия.

По природе возникновения все внешние воздействия можно условно проклассифицировать по следующим видам:

- силовые;
- влажностные;
- температурные;

- температурно-влажностные;
- химические (растворные или воздушные);
- радиационные (солнечное или радиационное излучение);
- электромагнитные;
- биологические (бактериальное, микробное или грибковое воздействия)

и пр.

Внешние воздействия по природе последствий могут быть обратимыми и необратимыми. Обратимое воздействие, называемое также физически агрессивным, не приводит к разрушению ионных или молекулярных связей составляющих материалов, и после его прекращения материал обладает такими же свойствами, которые у него были до начала воздействия. Примером такого вида воздействия может быть температурное. Известно, что при изменении температуры на несколько десятков градусов бетоны способны в значительных пределах изменять такие деформативные характеристики, как модули упругости и сдвига, коэффициент Пуассона. Аналогичные процессы происходят в бетонах при изменении влажности внешней среды.

Воздействия внешней среды всегда связаны с развитием в структуре материала физико-химических процессов, приводящих к необратимым изменениям свойств последних, что отражается в первую очередь на значениях физико-механических характеристик. Причем после прекращения этого вида внешнего воздействия значения названных характеристик практически не изменяются и не возвращаются к прежним. В рассматриваемом случае, как правило, говорят о наличии вокруг бетона химически агрессивной среды. Как показывает практика, независимо от вида и интенсивности внешнего воздействия в бетонах, в том числе специальных, всегда имеет место процесс разрушения структуры материала, сопровождаемый появлением и развитием дефектов в виде микротрещин, развивающихся в видимые макротрещины, разрушающие материал на отдельные элементы. Процесс разрушения начинается практически сразу после приложения к материалу внешнего воздействия.

На долговечности конструкций сказываются размеры поперечного сечения элементов, толщина защитного слоя бетона, расположение арматуры, наличие трещин, изменчивость этих параметров, а также свойств бетона (прочность, плотность и др.)

Конструкции простых форм (с меньшим модулем поверхности), массивные (с большей концентрацией материала), не образующие непроветриваемых объемов, без полок, выступов и других мест скопления пыли испытывают относительно меньше «удельные» агрессивные воздействия, чем тонкостенные или решетчатые элементы. С увеличением площади поперечного сечения конструкции уменьшается относительное влияние потери ее части вследствие коррозии бетона на несущую способность. Поэтому с точки зрения долговечности применение массивных элементов целесообразно.

При наиболее часто встречающихся толщинах защитного слоя (15...30 мм) и соответствующей плотности бетона пассивация арматуры для большинства воздействий газовой и жидкой среды может поддерживаться в течение времени, соизмеримого со сроками службы зданий, сооружений и основного оборудования промышленных объектов.

В процессе разрушения бетона четко различаются три этапа:

1) начальный, на котором образуются субмикротрещины, практически не влияющие на величину физико-механических характеристик материала;

2) этап подготовки разрушения, в период действия которого образуются многочисленные микротрещины, оказывающие существенное влияние на значения физико-механических характеристик бетона;

3) собственно «разрушение», приводящее к слиянию микротрещин в макротрещины, разделяющие материал на отдельные части, не способные воспринимать внешнее воздействие.

Следует иметь в виду, что, в отличие от металлов, у которых пластические свойства структуры способствуют релаксации напряжений, вызванных внешним воздействием, разрушение бетона протекает практически хрупко и процесс собственно разрушения весьма кратковременен, а в ряде случаев мгновенен. По этой

причине ни в коем случае нельзя эксплуатировать материал до такого состояния, чтобы он перешел в третий этап разрушения.

Действия агрессивных сред. Понятие «агрессивная среда» следует относить к достаточно широкому кругу химических и геофизических факторов, влияющих на состояние строительных конструкций и материалов, из которых они изготовлены.

Строительные конструкции и элементы зданий и сооружений в процессе эксплуатации подвергаются воздействию следующих агрессивных сред:

- газообразной среды в виде загрязненной атмосферы окружающего воздуха, смеси воздуха, водяных паров, газов, паров летучих веществ;
- твердой среды в виде пылей, загрязняющих атмосферу воздуха (взвешенные вещества) и осаждающихся на наружных поверхностях конструкций, сыпучих и кусковых технических продуктов грунта и асфальтовых покрытий, солей-антиобледенителей, грунтов, содержащих агрессивные компоненты;
- жидкой среды в виде атмосферных осадков, особенно кислотных дождей, технологических растворов и в виде агрессивных природных или загрязненных поверхностных и минерализованных грунтовых вод.

Первые две могут относиться к агрессивным, только если присутствует третья – жидкая фаза. Поэтому подробнее рассматривается жидкая фаза.

Жидкие среды представляют собой водные растворы, отличающиеся степенью минерализации, жесткостью, кислотностью и щелочностью.

Степень агрессивности для жидких сред определяется наличием и концентрацией агрессивных компонентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкций.

Исследования бетонов, подвергнутых воздействию агрессивных жидких сред, показали, что интенсивность снижения прочности бетона зависит от глубины пропитки.

При достаточно глубокой пропитке, если образец или конструкция полностью пропитана вышеперечисленными средами, прочность бетона снижается за 10...40 лет на 25...65% в зависимости от вида агрессивной среды.

В результате воздействия агрессивных сред происходит значительное снижение механических свойств бетона.

Одновременно происходит снижение прочностных свойств арматуры в результате коррозии металла. Обычно процент снижения прочности арматуры находится в тех же интервалах, что и у бетона. Вследствие коррозии происходит не только разрушение поверхности металла, но и (что зачастую еще опаснее) потеря их функциональных свойств.

Долговечность бетона зависит от его структуры и характера окружающей среды, в которой он эксплуатируется. Если проведен правильный подбор состава и технологических параметров изготовления бетона, то есть учтены практически все особенности эксплуатационной среды, то бетон – исключительно долговечный материал. В случае технологических просчетов бетон вследствие различных химических, физико-химических и физических процессов может разрушиться. В химических процессах разрушения участвуют цементный камень и контактная зона «цементный камень – заполнитель». Долговечность бетона определяется временем от начала его эксплуатации до разрушения или ухудшения его свойств до неприемлемого уровня. Проблема долговечности бетона связана с исследованием путей и условий перемещения воды в бетоне. Характер и интенсивность этого перемещения определяют условия воздействия на бетон. Вода может проникать в бетон при конденсации водяных паров, при напорной фильтрации и капиллярной всасываемости.

Долговечность железобетона определяется способностью бетона и арматуры в совокупности противостоять воздействию агрессивных сред. Разрушение железобетона может быть результатом коррозии как бетона, так и арматуры.

Практика эксплуатации инженерных бетонных сооружений показала, что в ряде случаев под влиянием физико-химического действия жидких и газовых сред бетон может подвергаться разрушению.

По классификации В. М. Москвина коррозия бетона делится на три вида:

– процессы, в результате которых растворяется составные части цементного камня;

– реакции обмена, сопровождающиеся образованием рыхлых, не обладающих вяжущими свойствами продуктов, которые ослабляют структуру цементного камня и в ряде случаев могут быть вынесены из камня в процессе фильтрации агрессивной среды;

– процессы, приводящие к накоплению в порах цементного камня, трещинах и капиллярах бетона солей, которые при определенных условиях могут разрушить материал.

Все три вида коррозии являются сложными многоступенчатыми процессами, включающими химическую и физико-химическую стадии.

Коррозия бетона возникает в результате проникания агрессивного вещества в его толщу; она особенно интенсивна при постоянной фильтрации такого вещества через трещины или поры бетона. К агрессивным воздействиям внешней среды чаще всего относят следующие: пресные и минерализованные воды, совместное действие воды и мороза, попеременное увлажнение и высушивание.

Защитное действие бетона по отношению к арматуре определяется способностью цементного камня за счет щелочности пассивировать, т.е. это образовывать тонкую и прочную оксидную пленку на поверхности металла с целью предохранения его от дальнейшего окисления (ржавчины), поверхность арматуры. Отсутствие прочного сцепления арматуры с бетоном, даже частичное, может способствовать коррозии арматуры. Ее развитие приводит к уменьшению площади сечения арматуры и вызывает за счет увеличения объема продуктов коррозии стали (ржавчины) появление трещин в бетоне и даже отслаивание защитного слоя. Начавшийся процесс коррозии арматуры остановить трудно. Лучше его предотвратить на стадии изготовления конструкции. Причиной коррозии является доступ кислорода к поверхности арматурных стержней. Если поры бетона полностью насыщены водой, то доступ кислорода к арматуре прекращается.

Защита конструкций от коррозии должна предусматриваться на стадии проектирования. Геометрическая конфигурация конструкций должна быть такой, чтобы скопление агрессивных веществ сводилось к минимуму. На стадии

проектирования следует предусматривать необходимую толщину защитного слоя бетона, обеспечение требуемой трещиностойкости конструкции.

Для предотвращения коррозионного разрушения бетона и железобетона существуют следующие виды защиты.

Первичная: защита строительных конструкций от коррозии и протечек, реализуемая на стадии изготовления (возведения) конструкции за счет свойств бетона (добавлением в бетон различных веществ) и конструктивных мер, достаточных для сохранения эксплуатационных свойств конструкций, предусмотренных проектом.

Вторичная: защита строительных конструкций от коррозии и протечек, реализуемая после изготовления (возведения) конструкции и подразумевающая устройство оклеечной, свободномонтируемой, обмазочной, металлической и прочих видов изоляции и других мер, исключающих или препятствующих прямому контакту агрессивной среды с материалом конструкций.

К мерам первичной защиты относятся:

- 1) применение бетонов, стойких к воздействию агрессивной среды;
- 2) применение различных модифицирующих добавок, повышающих коррозионную стойкость бетонов и их защитную способность по отношению к стальной арматуре, стальным закладным деталям и соединительным элементам. Добавки могут быть пластифицирующие (увеличивающие), стабилизирующие (предупреждающие расслоение), водоудерживающие, а также регулирующие схватывание бетонных смесей, их плотность, пористость и т.д.;
- 3) снижение проницаемости бетонов;
- 4) соблюдение дополнительных расчетных и конструктивных требований при проектировании бетонных и железобетонных конструкций.

К мерам вторичной защиты относится нанесение на поверхности бетонных и железобетонных конструкций защитных материалов:

– биоцидные материалы – уничтожают и подавляют грибковые образования на бетонных конструкциях (принцип действия заключается

в проникновении химически активных элементов в структуру бетона и заполнении ими микротрещин и пор);

- оклеечные покрытия – применяются при воздействии жидких сред (например, если бетонная свая подтапливается подземными водами), в грунтах, а также в качестве непроницаемого подслоя в облицовочных покрытиях (это могут быть рулоны нефтебитума, полиэтиленовая пленка, полиизобутиленовые пластины и т.п.);

- уплотняющие пропитки – придают бетону высокие гидрофобные свойства, резко повышают водонепроницаемость и снижают водопоглощение материала (применяются в условиях повышенной влажности и в случае необходимости обеспечения специальных санитарно-гигиенических требований);

- лакокрасочные и акриловые покрытия – образуют атмосферостойкую, прочную и долговечную защиту, в том числе предотвращающую появление на поверхности грибков и микроорганизмов.

Вторичная защита применяется в случаях, если защита от коррозии не может быть обеспечена мерами первичной защиты и, как правило, требует периодического ее возобновления. Антикоррозийные покрытия можно применять везде, где существует подобная необходимость для бетона. При выборе защитных средств следует учитывать особенности воздействия среды, возможные физические и химические воздействия.

Современный рынок гидроизоляционных материалов предлагает широкий спектр составов для защиты бетона, при этом каждый цементный материал выполняет определенную функцию.

Обмазочная гидроизоляция применяется для гидроизоляции бетонных, железобетонных, пенобетонных, а также кирпичных конструкций. Толщина гидроизоляции 2...6 мм. Гидроизоляционные составы производятся в двух вариантах: жесткая цементная гидроизоляция (сухая смесь) и гибкая полимерцементная гидроизоляция (двухкомпонентный состав: сухая смесь и водная дисперсия полимера). Полимерцементная гидроизоляция применяется для гидроизоляции

сооружений с повышенным трещинообразованием, подвергающихся температурным и механическим деформациям, осадке и вибрациям.

Штукатурная гидроизоляция – сухие смеси для гидроизоляции бетонных, железобетонных и кирпичных конструкций применяются при необходимости дополнительного выравнивания поверхностей. Толщина гидроизоляции 5...50 мм.

Шовная гидроизоляция – сухие смеси для гидроизоляции стыков, швов, сопряжений, примыканий, вводов коммуникаций в статически нагруженных сборных и монолитных бетонных конструкциях.

Ремонтные смеси – цементные составы с использованием армирующего волокна, которые применяются для локального восстановления поверхностей (сколов, выбоин, трещин, эрозии) бетонных, железобетонных, пено-, газобетонных, кирпичных и каменных конструкций.

Водяная пробка – быстросхватывающиеся цементные составы, используемые для оперативной ликвидации напорных течей через трещины, стыки и отверстия в бетонных и железобетонных конструкциях, кирпичной и каменной кладке.

Проникающая гидроизоляция – сухие смеси для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций. Такой вид цементной гидроизоляции не предназначен для гидроизоляции пенобетонных и газобетонных конструкций (из-за большого размера пор), кирпичных стен (вследствие отсутствия в кирпиче необходимых для реакции веществ). Основное отличие проникающей гидроизоляции от всех других цементных гидроизоляций: формирование водонепроницаемого покрытия не на поверхности бетона, а в его значительной толщине (до 400 мм для определенных проникающих материалов). Может использоваться на влажных поверхностях, с внутренней и внешней стороны, при положительном и отрицательном давлении воды. Действие проникающей гидроизоляции продолжается и усиливается после нанесения состава на поверхность (см. рис. 1).

Добавки в бетон – сухие смеси, используемые в качестве добавки в бетон на стадии приготовления, для повышения водонепроницаемости, морозостойкости и коррозионной стойкости бетонов и растворов. Применение гидроизоляционных добавок позволяет снизить водоцементное отношение и, как следствие, уменьшить объем пор в бетоне, повышая, таким образом, плотность, прочность, водонепроницаемость, а также долговечность бетона [2].

Окончательное решение о виде защиты и материалах для защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций следует принимать на основе сравнения технико-экономических показателей различных вариантов технических решений. При технико-экономических расчетах защитных мероприятий должны быть учтены капиталовложения, средняя годовая стоимость защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций и стоимость ее периодического восстановления, а также значение вынужденных потерь, вызываемых необходимостью перерыва производственного процесса на время восстановления защиты от коррозии.

Процесс коррозии – очень сложный и опасный для бетонных или железобетонных построек процесс. Поэтому к нему стоит относиться с большим вниманием. Если пренебрегать коррозией бетона и не пытаться ее предотвратить, то любая постройка через некоторый период времени может полностью разрушиться. К счастью, на сегодняшний день существует большое количество систем защитных материалов, препятствующих этому процессу и предлагающих ряд вариантов эффективного решения задач, стоящих перед строителями и эксплуатирующими здания и сооружения организациями.

Интенсивность коррозии всех видов в значительной степени зависит от плотности бетона, поскольку степень его повреждения определяется, в первую очередь, количеством агрессивного компонента, проникающего из окружающей среды в бетон. Установлено, что коррозионная стойкость плотного бетона при действии напора определяется теми же показателями, что и при погружении бетона в агрессивный раствор без напора. Кроме того, качественно уплотненный бетон не пропускает воду.

4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Качество изготовления и монтажа стальных конструкций, а также правила их технической эксплуатации регламентируются СНиП, ГОСТ и отраслевыми документами. Однако в результате несовершенства норм и ошибок проектирования, низкого качества работ по изготовлению и монтажу конструкций, нарушений правил технической эксплуатации в конструкциях появляются отклонения от проектных размеров, формы и качества сверх допускаемых пределов.

Несовершенства, полученные конструкцией на стадии изготовления и монтажа, называются *дефектами*. Несовершенства, полученные в процессе эксплуатации, – *повреждениями*. Очагами развития повреждений часто являются дефекты изготовления и монтажа. Дефекты характеризуют начальное состояние конструкций. Повреждения возникают и развиваются во времени и зависят от срока эксплуатации и интенсивности воздействий.

Классификация дефектов и повреждений по виду. По виду дефекты и повреждения металлических конструкций могут быть разделены на следующие группы [18]:

Ослабление поперечного сечения или отсутствие элемента. К этой группе относятся такие дефекты и повреждения, как вырез элемента или части сечения, отсутствие элемента, предусмотренного проектом, абразивный износ, уменьшение сечения по сравнению с проектом в результате замены при изготовлении, монтаже или эксплуатации. В качестве измерителя дефектов и повреждений можно принять отношение площади ослабленного сечения к проектной;

Трещины в основном металле и в сварных швах. Для продольных измерителей служит длина трещины, для поперечных – отношение длины трещины к ширине элемента или отношение площади проектного сечения к ослабленному трещиной;

Дефекты сварных швов: неполномерность швов, пороки сварки, отсутствие швов.

За измеритель дефектов этой группы можно принять степень ослабления шва.

Общее искривление элемента по всей длине. Измеритель – прогиб элемента или отношение прогиба к длине;

Местное искривление на части длины элемента или вмятина. Эта группа повреждений характеризуется величиной и длиной искривленного участка.

Ослабление или отсутствие болтов или заклепок. Измеритель – отношение ослабленных болтов к общему их количеству в соединении.

Дефекты болтовых и заклепочных соединений: трещиноватость, неполномерность головок, перекося стержня, неплотность пакета и т.д. Измеритель – отношение дефектных заклепок или болтов к их общему количеству;

Отклонение или смещение конструкций относительно проектного положения. Эти повреждения измеряются величиной смещения или отношением смещения к характерному размеру элемента;

Взаимное смещение конструкций. К этой группе относятся:

– расцентровка элементов, внеузловое опирание и т.д. Измеритель – величина взаимного смещения;

– зазоры в местах сопряжения элементов, которые измеряются величиной зазора;

– коррозионные повреждения основного и наплавленного металла, характеризующиеся глубиной проникания коррозии;

– повреждения защитного покрытия. Измеряются процентом поврежденной площади покрытия.

Классификация повреждений и дефектов по характеру и причинам возникновения. По характеру и причинам возникновения дефекты и повреждения эксплуатируемых строительных конструкций бывают [20]:

- конструктивные;
- производственно-строительные;
- эксплуатационные.

К дефектам конструктивного характера относятся дефекты, возникновение которых связано:

- с неполным учетом действующих на конструкции нагрузок;
- неучетом при проектировании возможности изменения условий эксплуатации и влияния на конструкции агрессивной среды и температурно-влажностного режима;
- отклонение от требований к материалам;
- занижение поперечных сечений конструктивных элементов несущих металлоконструкций, применение недолговечных материалов для изготовления конструкций и их защиты и др.

К дефектам производственно-строительного характера относятся дефекты, возникшие в ходе производства строительных работ в результате:

- применения некачественных материалов при изготовлении конструкций;
- отклонения от допустимых значений при монтаже;
- некачественное выполнение теплоизоляции покрытий и стен, узлов примыканий кровельного ковра и стыков между панелями;
- некачественная сварка и возникновение концентраторов напряжений при производстве сварочных работ и др.

К повреждениям эксплуатационного характера относятся:

- возникшие в процессе эксплуатации в результате изменения условий: длительного и периодического воздействия повышенной температуры и агрессивной среды, горячей воды и пара, увлажнения теплоизоляции покрытия и стенового ограждения,
- коррозионные процессы в металлоконструкциях,
- непроектные приложения нагрузок, приводящие к деформациям и потере устойчивости конструкций и др.

Наглядное представление данной классификации повреждений и дефектов может быть представлено в виде схемы (рис. 1).

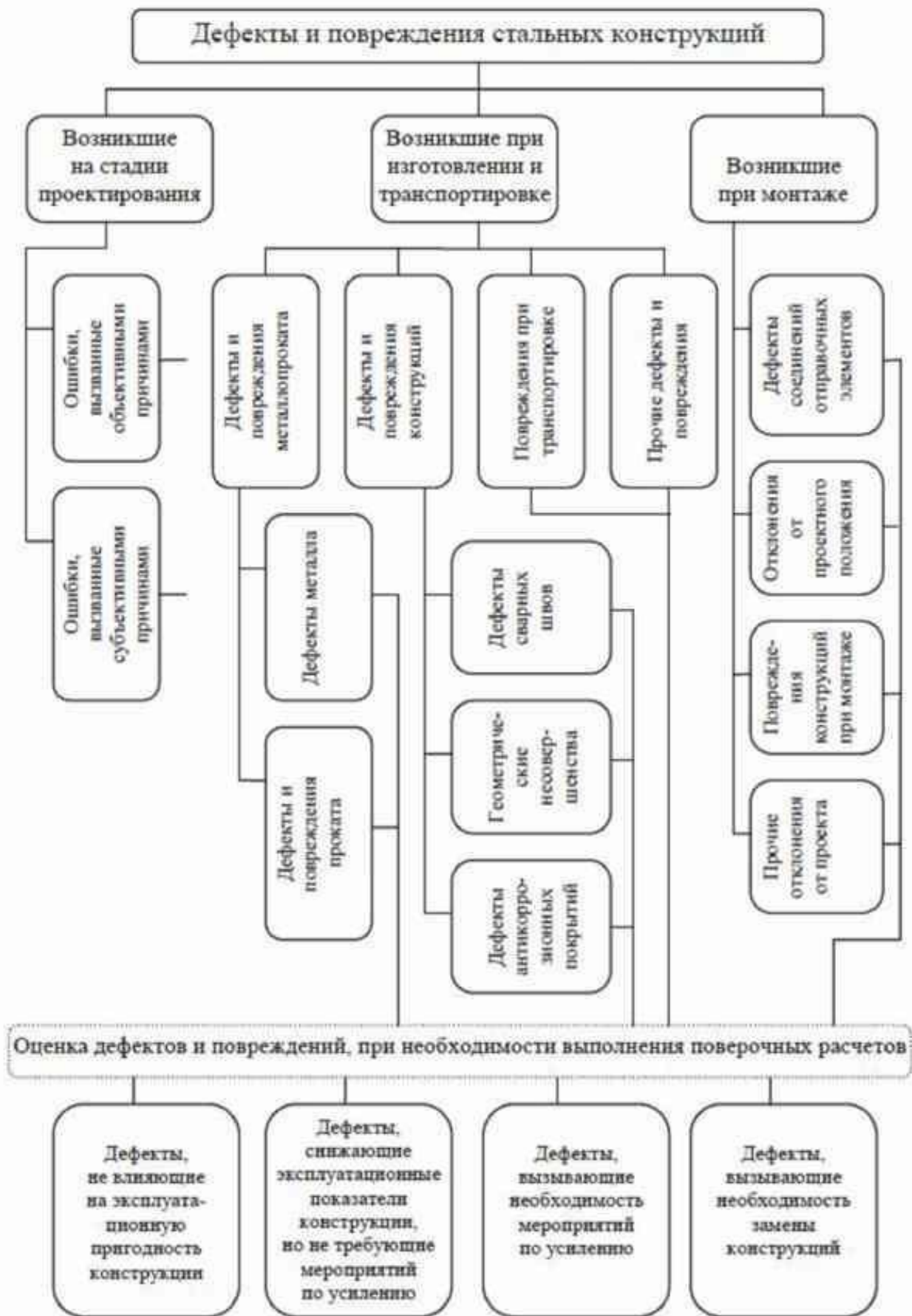


Рис. 1. Дефекты и повреждения строительных конструкций

Классификация повреждений в зависимости от вызывающих их воздействий и причины их появления. В зависимости от вызывающих их воздействий повреждения могут быть:

- силовые (механические) – разрывы, трещины, потеря устойчивости, искривления и местные погибы, расстройство соединений, абразивный износ и т.п.;
- температурные – коробление и разрушение элементов при высоких температурах, хрупкие трещины при отрицательных температурах, повреждения;
- защитных покрытий при нагреве;
- химические и электрохимические – коррозия металла и разрушение защитных покрытий.

Повреждения от силовых воздействий возникают в результате несоответствия расчетных предпосылок действительным условиям работы конструкций и вызываются:

- ошибками проектирования, связанными с неправильным определением нагрузок и внутренних усилий и подбором сечения элементов и узлов;
- отличием фактического напряженного состояния от расчетного вследствие неизбежного упрощения и идеализации расчетной схемы конструкции, ее элементов, узлов и действующих нагрузок, а также недостаточной изученности действительной работы конструкций и характера воздействий;
- пониженными прочностными характеристиками основного и наплавленного металла, дефектами, приводящими к концентрации напряжений и способствующими усталостному и хрупкому разрушению;
- произвольным изменением сечений элементов, размеров сварных швов, количества заклепок и болтов при изготовлении и монтаже по сравнению с проектным;
- недопустимой перегрузкой конструкций при эксплуатации;
- нарушениями при монтаже и эксплуатации взаимного расположения конструкций (смещение прогонов, эксцентриситет и перепады в стыках

подкрановых рельсов и т.п.), которые приводят к появлению дополнительных, не учитываемых расчетом, нагрузок и динамических воздействий;

– нарушениями правил технической эксплуатации: ударами транспортируемых грузов, использованием конструкций для подвески блоков и опирания домкратов, подъема и перемещения грузов при ремонтах без соответствующего расчета и необходимого усиления, вырезкой отверстий в элементах конструкций для пропуска коммуникаций, удалением связевых элементов и т.д.

Нередко повреждения от силовых воздействий связаны с неудачным конструктивным решением узлов.

Для конструкций, подвергающихся действию подвижных динамических нагрузок подкрановых балок, балок рабочих площадок характерны усталостные повреждения, которые проявляются в виде трещин в основном металле, сварных швах и околошовной зоне и в расстройстве болтовых и заклепочных соединений.

Нарушения правил эксплуатации оборудования и возникновение аварийных ситуаций могут привести к проливам расплавленного металла, короблению и пережогу элементов перекрытий и нижних частей колонн.

Повреждениям от температурных воздействий в наибольшей степени подвержены элементы, расположенные вблизи источников тепловыделений. В горячих цехах при изменении температуры появляются значительные температурные перемещения, приводящие к отклонению конструкций от проектного положения. При наличии связей, которые препятствуют свободным перемещениям, в элементах конструкций возникают дополнительные напряжения, имеющие циклический характер. При определенных условиях эти напряжения могут привести к искривлению элементов или появлению трещин. При нагреве стальных конструкций до 100 °С разрушается защитное покрытие, при 300...400 °С происходит коробление элементов, особенно тонкостенных.

Повреждения от действия низких температур возникают, как правило, в открытых сооружениях и неотапливаемых зданиях. К таким повреждениям относятся хрупкие трещины в местах концентрации напряжений (сварные швы, резкие изменения сечений, фасонки ферм и т.д.). Особенно подвержены хрупким

разрушениям конструкции, выполненные из кипящих сталей. Большую опасность для конструкций представляет резкое охлаждение элементов и возникновение «теплового удара».

Повреждения металла возникают вследствие химической и электрохимической коррозии. Для стальных конструкций производственных зданий характерна электрохимическая коррозия. Коррозионные повреждения металла разделяются на общие равномерные или неравномерные по площади поверхности и местные в виде отдельных питтингов, язв, сквозных поражений. Если общая поверхностная коррозия приводит к уменьшению площади поперечного сечения элементов и повышению уровня напряжений, то местная коррозия не только ослабляет сечение, но и повышает концентрацию напряжений, что может привести к хрупкому разрушению конструкций.

Усиление металлоконструкций. Решением проблем с повреждениями стальных конструкций, в зависимости от причин появления, является усиление металлоконструкций.

В зависимости от применимости тех или иных решений по усилению металлоконструкций, обоснованных причиной повреждения, нанесенным ущербом, а также аналитическим и экономическим расчетами, различают два метода усиления [3]:

- усиление стальных конструкций путем увеличения сечений элементов;
- усиление стальных конструкций путем изменения их конструктивных схем.

Усиление стальных конструкций путем увеличения сечений элементов. Усиление осуществляется путем установки дополнительных деталей, в результате чего развиваются расчетные сечения конструкций или их элементов, а также ликвидируются дефекты и повреждения или их последствия. Совместная работа металла основного сечения или элементов усиления обеспечивается соответствующими связями между ними в виде сварных швов, обычных или высокопрочных (в том числе предварительно напряженных) болтов, заклепок или комбинированных соединений [3].

Элементы усиления, увеличивающие основные сечения, могут подсоединяться к усиливаемым элементам конструкций как ненапряженным, так и с предварительным напряжением.

Усиление конструкций способом увеличения сечений может производиться как без предварительного разгрузки, так и при полном или частичном разгрузении на период производства ремонтных работ.

Разгрузка усиливаемой конструкции может быть достигнута либо путем непосредственного снятия действующих на нее постоянных и временных нагрузок, либо путем искусственного регулирования в ней напряжений.

Напряженность и степень разгрузки назначаются в процессе проектирования усиления конкретной конструкции (элемента). При этом следует учитывать:

- напряженно-деформационное состояние конструкции (элемента);
- влияние конкретных дефектов и повреждений;
- характер нагрузок и воздействий на конструкцию;
- механические свойства основного и дополнительного металла;
- технологические особенности производства работ по усилению

(возможность проведения работ по разгрузке конструкций, снижение несущей способности конструкций и ее элементов вследствие разогрева металла, ослабление сечений отверстиями и т.п.).

Усиление стальных конструкций путем изменения их конструктивных схем. Способ усиления стальных конструкций путем изменения их конструктивных схем применим при неотложно-аварийных, временных, постоянных и перспективных усилениях. Посредством изменения конструктивной схемы рекомендуется усиливать почти все наиболее распространенные стальные конструкции производственных зданий (рамы, фермы, балки, колонны). Данный способ усиления исключает всякий шаблон в выборе приемов, почти всегда дает хорошие экономические решения.

Многочисленные приемы изменения конструктивных схем, позволяющие в широком диапазоне регулировать усилие и напряжение в конструкциях, различаются следующими основными признаками:

- усиление без превращения в новые конструктивные формы. Например, увеличением жесткости какой-либо колонны в поперечной схеме пролетного сооружения цеха можно в ряде случаев достичь необходимого перераспределения усилий во всей конструкции;

- усиление с частичным превращением в новые конструктивные формы. Например, установка затяжки в раме и заземление концов стоек превращает двухшарнирную раму в такую же конструкцию (раму), но с заземленными опорами и затяжкой;

- усиление с полным превращением в новые конструктивные формы. Например, введением шпренгеля однопролетный ригель (балка) превращается в новую конструкцию – шпренгельную балку.

Изменение жесткости отдельных сооружений в большинстве случаев производится посредством изменения их конструктивной схемы: способом присоединения конструкций, постановкой дополнительных элементов, подкосов, жестких узлов, жестких ригелей, связей и т.п.

Эффективным приемом изменения конструктивной схемы является введение предварительно-напряженных элементов: предварительно-напряженных затяжек для изгибаемых балок и ферм или предварительно-напряженных шпренгелей для снижения расчетной длины сжатых элементов с целью повышения несущей способности стоек.

Основными способами регулирования усилий, изменения конструктивной схемы являются:

- установка напрягающих элементов (затяжек) или устройств (натяжных, распорных) непосредственно напрягающих конструкций;

- изменение условий закрепления опор в неразрезных системах;

- объединение несущих и ограждающих конструкций для совместной работы;
- введение временных шарниров в процессе ремонтных работ, при которых в конструкциях создаются усилия и напряжения противоположных знаков по отношению к эксплуатационному состоянию;
- предварительное напряжение гибких стержней и стальных канатов растягивающими усилиями, превосходящими по значению сжатия в этих элементах от эксплуатационных нагрузок.

При усилении конструкций способом изменения конструктивных схем необходимо соблюдать следующие общие положения:

- выбор того или иного приема изменения конструктивной схемы производить в зависимости от окружающих условий (насыщенности оборудованием, наличия свободных габаритов, видов нагрузок и т.п.) и состояния конструкций в момент усиления;
- при изменении конструктивных схем обеспечить надежное включение новых элементов в работу измененной конструкции посредством соединений элементов с помощью сварки или болтов;
- при использовании предварительно-напряженных элементов необходимо учитывать специфику их работы – релаксацию напряжений, возможность контроля предварительного напряжения, характер распределения усилий и напряжений по всей конструкции.

Винтообразность, перекося, выпучивания, местные вмятины, прогибы и вырезы в элементах металлических конструкций перекрытий, покрытий и колонн каркаса следует устранять по проекту, разработанному специализированной организацией.

5. ОЦЕНКА СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Необходимость в определении (прогнозировании) срока службы возникает при принятии решения о видах, объемах и времени выполнения работ по усилению, восстановлению и антикоррозионной защите конструкций, о возможности продолжения эксплуатации сохраняемых конструкций на период реконструкции и в новых условиях эксплуатации и т.д. Практические способы прогнозирования развития во времени всех признаков, характеризующих состояние железобетонных конструкций [16] пока разработаны не в полной мере и требуют доработки. Методика, приведенная в данном разделе, позволяет оценить развитие во времени процесса потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и изменения несущей способности конструкции. Исчерпание бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре является определяющим признаком выхода конструкций в рассматриваемый момент времени из нормального состояния (I категория технического состояния) в одну из последующих категорий (II – удовлетворительное, III – не совсем удовлетворительное, IV – неудовлетворительное и V – аварийное состояние).

Рассматриваются два способа определения ожидаемого срока службы – детерминированный и вероятностный. При детерминированном способе используют средние значения величин, входящие в расчетные формулы, в вероятностной постановке обеспеченность принята равной 0,95.

При вероятностном способе оценки долговечности по истечении прогнозируемого срока службы железобетонные конструкции должны быть обследованы, после чего решается вопрос о возможности дальнейшей их эксплуатации без проведения дополнительных защитных мероприятий или о времени проведения, составе и объеме ремонтных работ. Эти сроки должны быть указаны в паспорте на здание или сооружение.

Прогнозируемый срок службы эксплуатирующегося бетона до наступления выбранного предельного состояния T определяют по формуле

$$T = f_1 f_2 f_3 f_4 T_s, \quad (1)$$

где f_1 – коэффициент, учитывающий коррозионное состояние бетона в защитном слое, который для нового бетона принимается равным единице.

Для эксплуатируемого бетона коэффициент f_1 принимаем наименьшим из значений коэффициентов f_{11} , f_{12} , f_{13} .

Коэффициент f_{11} , учитывающий водопоглощение бетона

$$f_{11} = 1 - \frac{w_r - w_o}{w_{adm} - w_o}, \quad (2)$$

где w_o – нормативное значение величины водопоглощения бетона по массе, определяется по [16] в зависимости от проницаемости бетона. Водонепроницаемость бетона – это способность бетона сопротивляться прохождению воды под давлением через его структуру. Другими словами, это уровень гидроизоляции бетона, где $w_o < 4,2\%$ – бетон особо низкой проницаемости; $w_o = 4,2 \dots 4,7\%$ – бетон пониженной проницаемости; $w_o = 4,7 \dots 5,7\%$ – бетон нормальной проницаемости; $w_{adm} = 7\%$ – нижний предел водопоглощения. Водопоглощение – это способность материала впитывать и удерживать в порах воду. Вода заполняет мельчайшие поры и капилляры в материале, но так как часть из них все же оказывается недоступной для воды, а в порах, заполняемых водой частично остается воздух, то по количеству воды, поглощаемой материалом, только приблизительно можно установить открытую пористость материалов. Водопоглощение – важный показатель с точки зрения его эксплуатации. При насыщении материала водой снижается его прочность, увеличиваются средняя плотность, теплопроводность, наблюдаются коррозионные процессы; w_r – фактическое значение водопоглощения на период обследования.

Коэффициент f_{12} , учитывающий рН водной вытяжки бетона на уровне арматуры. Водородный показатель рН (от лат. – сила или вес водорода) – это показатель, определяющий концентрацию ионов водорода в растворе.

pH = 7 называют нейтральным. При pH менее 7 – кислая среда, более 7 – щелочная среда.

$$f_{12} = 1 - \frac{pH_0 - pH_r}{pH_0 - pH_{adm}}, \quad (3)$$

где $pH_0 = 12,5$ – нормативное значение величины pH; pH_r – фактическое значение величины pH на момент обследования; $pH_{adm} = 11,5$ – предельное значение величины pH.

Коэффициент f_{13} , учитывающий количество дефектных участков в цементном камне

$$f_{13} = 1 - \frac{L_r - L_o}{L_{adm} - L_o}, \quad (4)$$

где L_r – текущее значение количества дефектных участков, которое определяется планиметрическим методом оптико-микроскопического анализа и равно процентному содержанию в прозрачном плоскопараллельном шлифе продуктов коррозии, трещин, пор и т.д.; $L_o = 3\%$ – начальное значение количества дефектных участков; $L_{adm} = 25\%$ – предельное значение количества дефектных участков.

Коэффициент f_2 , учитывающий эффективную толщину защитного слоя бетона

$$f_2 = \frac{h_0^{OBS}}{h_d^n}, \quad (5)$$

где h_0^{OBS} – средняя толщина защитного слоя бетона, определяемая с помощью различных приборов-измерителей защитного слоя бетона или откалыванием бетона в нескольких точках по длине конструкции; h_d^n – толщина защитного слоя бетона для сборных конструкций и элементов, определяемая по [12, табл. 9, 10] в зависимости от класса арматуры, агрессивности среды или по прил. 2, 3; f_3 – коэффициент условий эксплуатации конструкции и зависящий от максимальной температуры.

$$f_3 = \begin{cases} 2, & t \leq 40 \text{ }^\circ\text{C}; \\ 1,6, & 40 \text{ }^\circ\text{C} < t \leq 60 \text{ }^\circ\text{C}; \\ 0,3, & 60 \text{ }^\circ\text{C} < t \leq 90 \text{ }^\circ\text{C}, \end{cases}$$

где f_4 – коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации конструкции до обследования или реконструкции.

$$f_4 = \begin{cases} 0,3, & T_s \leq 10 \text{ лет;} \\ 0,7, & 11 \leq T_s \leq 15; \\ 1, & 16 < T_s \leq 20; \\ 1,4, & T_s > 20, \end{cases}$$

где T_s – срок эксплуатации, полных лет после возведения или капитального ремонта здания.

Пример 1. Требуется определить срок службы эксплуатируемой железобетонной конструкции до наступления предельного состояния.

Исходные данные: срок эксплуатации конструкции после последнего капитального ремонта $T_s = 15$ лет; проницаемость бетона – особо низкая; фактическое значение водопоглощения по массе на период обследования $w_r = 6\%$; фактическое значение $pH_p = 13$; текущее значение количества дефектных участков $L_r = 12\%$; рабочая арматура класса – АV; средняя величина защитного слоя бетона $h_0^{OBS} = 35$ мм; среда эксплуатации – сильно агрессивная; температура эксплуатации – 45 °С.

Срок службы эксплуатируемой железобетонной конструкции до наступления предельного состояния определяется по формуле (1). Для этого определяются промежуточные коэффициенты с учетом вышеизложенных материалов и формул.

$$f_{11} = 1 - \frac{6 - 3}{7 - 3} = 0,25;$$

$$f_{12} = 1 - \frac{12,5 - 13}{12,5 - 11,5} = 1,5;$$

$$f_{13} = 1 - \frac{12 - 3}{25 - 3} = 0,591.$$

Наименьшим из значений коэффициентов f_{11} , f_{12} и f_{13} является f_{11} , следовательно, принимаем $f_1 = f_{11} = 0,25$.

$$f_2 = \frac{35}{25} = 1,4,$$

где h_d^n – толщина защитного слоя бетона для сборных конструкций и элементов. По [прил. 2] в зависимости от класса арматуры АV принимаем арматурную сталь группы III. По [прил. 3] в зависимости от группы арматурной стали III при сильно агрессивной среде принимаем $h_d^n = 25$ мм.

Коэффициент f_3 , учитывающий температуру эксплуатации. При температуре эксплуатации равной 45 °С принимается $f_3 = 1,6$.

Коэффициент f_4 , учитывающий продолжительность эксплуатации. При сроке эксплуатации $T_s = 15$ лет принимается $f_4 = 0,7$.

Срок службы эксплуатируемой железобетонной конструкции до наступления предельного состояния:

$$T = 0,25 \cdot 1,4 \cdot 1,6 \cdot 0,7 \cdot 15 = 5,9 \approx 6 \text{ лет.}$$

Вывод: прогнозируемый срок службы до капитального ремонта железобетонных конструкции составляет 6 лет.

6. ОЦЕНКА СРОКА СЛУЖБЫ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Срок службы несущих стальных конструкций связан с установлением уменьшения сечения конструкций в результате развития коррозионных поражений. Их можно определить двумя способами – аналитически в зависимости от условий эксплуатации или экспериментально.

В первом случае средняя глубина проникновения коррозии с каждой стороны поверхности элемента:

$$t_{mt} = \sum_{i=1}^q k \tau_i^b, \quad (5)$$

где τ_i – срок службы конструкции с разрушенной противокоррозионной защитой; q – число возобновлений защиты; k, b – эмпирические параметры, принимаемые в зависимости от условий эксплуатации.

Для эксплуатационных сред, кроме сильноагрессивных, характеризующихся повышенной относительной влажностью воздуха, присутствием сернистого газа, пылевых отложений, содержащих соединений железа, что имеет место на большинстве предприятий черной металлургии, $b = 0,5$.

Для этих же условий k для неагрессивных сред принимается 0,75, для слабоагрессивных – 0,15...0,3, для среднеагрессивных $k = 0,5$, для сильноагрессивных $b = 0,67$ и $k = 0,8$ мм.

После определения толщины коррозии каким-либо способом корректируют размеры поперечного сечения элемента и находят предельную нагрузку.

Обследование стальных элементов и соединений

Экспериментально ослабление сечения стального элемента в случае местной коррозии оценивают следующим образом.

На обеих поверхностях конструкции в одном сечении выделяют сопряженные прямоугольные площадки площадью примерно $0,5 \dots 1 \text{ дм}^2$ с таким расчетом, чтобы количество местных поражений на ней было не менее $20 \dots 30$ шт.

При этом на двутаврах и швеллерах они должны обязательно захватить середину вылета полков.

На каждой элементарной площадке после тщательной очистки поверхности от загрязнений и продуктов коррозии (без повреждения не пораженных коррозией участков поверхности) фиксируют: вид местных поражений (точки, язвы, пятна), занимаемую ими площадь F_k , %, общее количество поражений n_k , шт., и плотность их расположения μ , шт./ см^2 , шт./ дм^2 , глубину местных поражений t_{loc} , а также общую толщину элемента t_{gen}° .

Значения t_{gen}° определяют с помощью микрометра, штангенциркуля и т.п., не менее чем в трех точках, в пределах элементарной площадки. При этом следят, чтобы измерительный инструмент не попадал на пораженные коррозией участки поверхности. На полках двутавров и швеллеров замеры t_{gen}° проводят по оси, проходящей через середину вылета полки.

Значения t_{loc} могут быть определены тремя способами: с помощью индикатора с иглой и подставкой; путем снятия поверхностных слепков, а также путем послойной зачистки стальной поверхности.

Первые два способа применимы в случае, если продукты коррозии полностью удалены из местных поражений, что на практике не всегда осуществимо.

Третий способ не требует удаления продуктов коррозии, в этом его существенное преимущество.

Замеры t_{loc} индикатором производят следующим образом: индикатор на закрепленной подставке устанавливают рядом с язвой на непораженную поверхность, фиксируют показания, которые принимают за нуль. Затем индикатор переставляют, так, чтобы игла опустилась на дно язвы, при этом находят положение, при котором игла проникает на максимальную глубину. По разности отсчета определяют глубину местного поражения. Таким образом измеряют на элементарном участке не менее 10 поражений, которые выбирают случайным образом.

Метод замера t_{loc} путем послойной зачистки стальной поверхности заключается в следующем. Стальную поверхность на элементарном участке зачищают с помощью напильника, наждачного круга и т.д. до полного исчезновения местных коррозионных поражений. При этом зачистку производят в j этапов, фиксируя микрометром на каждом j -м этапе толщину снятого слоя металла t_j , площадь коррозионных поражений F_{kj} , число сохранившихся местных поражений n_{kj} . Количество этапов j принимают не менее 5 с примерно равными значениями Δt_j .

В результате получают выборочное распределение частот значений t_{loc} .

$$P_j = \frac{\Delta F_{kj}}{F_k} = \frac{\Delta n_{kj}}{n_k}.$$

При определении t_{loc} путем снятия поверхностного слепка используют слепочные материалы, выпускаемые отечественной промышленностью и широко применяемые в стоматологии. Получаемый при этом слепок повторяет все неровности прокорродированной поверхности, имеет резиноподобную природу, хорошо сохраняется. С такого слепка в лабораторных условиях можно определить значения t_{loc} , замеряя выступы на поверхности слепка.

В случае сплошной коррозии определение ослабления сечения производят следующим образом.

Выделяют элементарные площадки на обеих поверхностях стальной конструкции (элемента) площадью около 0,5 дм². При сплошной равномерной коррозии всю поверхность площадки с обеих сторон элемента зачищают до блеска и замеряют сохранившуюся общую толщину элемента t_{gen} не менее чем в трех точках. На полках двутавров и швеллеров t_{gen} определяют по середине вылета полки.

При сплошной неравномерной коррозии определяют вначале толщину без учета местных поражений, а затем замеряют глубину местных поражений.

Для определения поверхность элемента зачищают с обеих сторон до появления блеска не более чем на 5...10 % площади поверхности. Значения

определяют микрометром не менее чем в 5 точках. Затем определяют, как и в случае местной коррозии, одним из трех описанных выше способов.

Для установления глубины сплошной равномерной коррозии t_{mi} или необходимо располагать данными о фактической исходной толщине элемента, которая может отличаться от номинальной на величину допусков. Для определения рекомендуется найти участки поверхности конструкции (элемента), на которых отсутствует коррозия, где сохранилось защитное покрытие или наблюдается местная коррозия.

Сохранившуюся после коррозии высоту и форму сварного шва можно определить методом снятия слепка, используя слепочные материалы. Перед снятием слепка поверхность шва и околошовной зоны зачищают от продуктов коррозии наждачной шкуркой (без выбора местных коррозионных поражений). По снятому слепку в лабораторных условиях замеряют высоту сварного шва.

Описанные выше показатели коррозионных поражений определяют не менее чем в трех различных сечениях по длине стальной конструкции. Зачистку осей поверхности элемента до блеска следует производить в наименее напряженных местах.

Пример 2. Требуется определить несущую способность металлической балки с разрушенной противокоррозионной защитой

Исходные данные:

- сечение балки из двух двутавров № 40 (рис. 1) с $A_1=72,6 \text{ см}^2$,
 $I_{x_1} = 19\,062 \text{ см}^4$;
- сталь марки С245 с $R_y = 240 \text{ МПа}$;
- число возобновления защиты $q = 2$;
- срок службы конструкции с разрушенной противокоррозионной защитой $\tau_1 = 2$ года, $\tau_2 = 3$ года;
- среда сильноагрессивная;
- геометрическая длина балки $L_{\text{геометр}} = 4,5 \text{ м}$;
- расчетная схема балки (рис. 1).

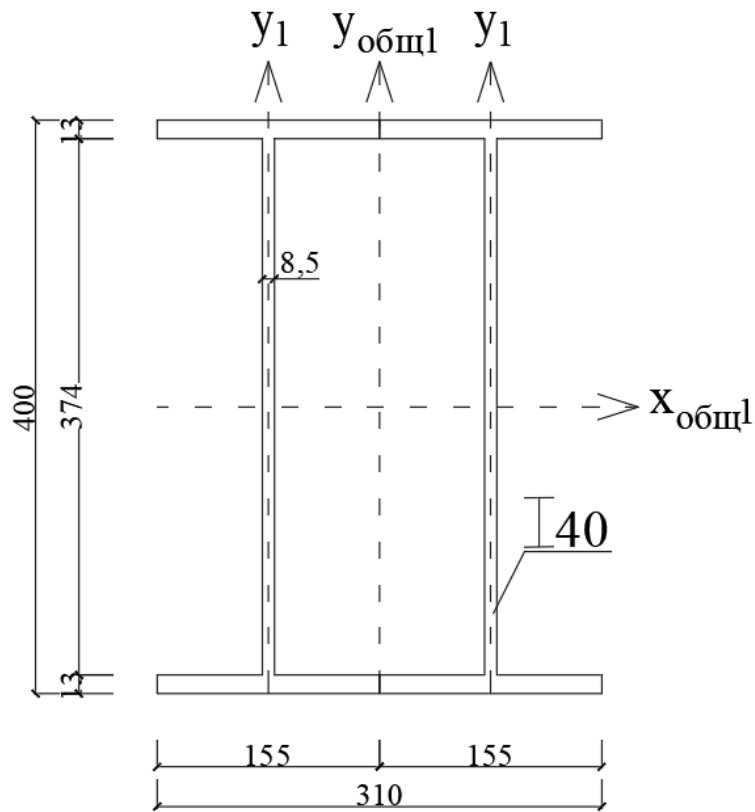


Рис. 2. Сечение балки до начала эксплуатации

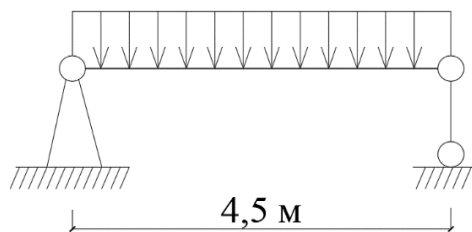


Рис. 3. Расчетная схема закрепления балки

Определяем среднюю толщину коррозии

$$t_m = \sum_{i=1}^q k \tau_i^b = 0,2 (2^{0,5} + 3^{0,5}) = 0,63 \text{ мм,}$$

где $q = 2$ – число возобновлений защиты; k – коэффициент, зависящий от агрессивности среды (принимается равным 0,15...0,3 для слабоагрессивной среды); $k = 0,2$; $b = 0,5$ – эмпирический коэффициент (для эксплуатационных сред,

кроме агрессивных); τ_i – срок службы конструкций с разрушенной противокоррозионной защитой (2 и 3 года).

Проверка несущей способности балки до начала эксплуатации:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1} \leq R_y,$$

где M – момент, возникающий в балке; R_y – расчетное сопротивление стали; W_1 – момент сопротивления балки до начала эксплуатации.

$$M_1 = \frac{p_1 L_0^2}{8},$$

L_0 – расчетная длина балки; p – равномерно распределенная нагрузка на балку.

Момент сопротивления находится по формуле:

$$W_1 = \frac{I_1}{0,5 h_1},$$

где h_1 – высота балки (двутавра) до начала эксплуатации; I_1 – момент инерции балки до начала ее эксплуатации.

Момент инерции балки с сечением, состоящим из двух двутавров, находится по формуле:

$$I_1 = 2(I_{x_1} + A_1 a_{x_1}^2) = 2(19\,062 + 72,620^2) = 96\,204 \text{ см}^4,$$

где I_{x_1} – момент инерции двутавра, принимаемый из характеристик двутавра № 40 [3]; A_1 – площадь поперечного сечения двутавра, принимаемая из характеристик двутавра № 40 [3]; a_{x_1} – расстояние от середины полки двутавра до оси $x_{\text{общ}}$.

$$W_1 = \frac{96\,204}{0,5 \cdot 40} = 4810,2 \text{ см}^3.$$

Найдем величину равномерно распределенной нагрузки, объединив все в единую расчетную формулу:

$$p_1 = \frac{8 W_1 R_y}{L_{\text{расчет}}^2} = \frac{8 \cdot 4810,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 240 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2}{4,5^2 \text{ м}^2} \cdot 10^{-3} = 456,1 \text{ кН/м}.$$

Характеристики сечения после коррозии:

$$A_2 = 63,2 \text{ см}^2; I_{x_2} = 16\,590 \text{ см}^4.$$

Расчет момента инерции балки с сечением, состоящим из двух двутавров после коррозии:

$$I_2 = 2 (I_{x_2} + A_2 a_{x_2}^2) = 2 (16\,590 + 63,2 \cdot 19,874^2) = 83\,105 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления балки после коррозии:

$$W_2 = \frac{I_2}{0,5 h_2} = \frac{83\,105}{0,5 \cdot 39,748} = 4181,6 \text{ см}^3.$$

Величину равномерно распределенной нагрузки после коррозии:

$$p_2 = \frac{8 W_2 R_y}{L_{\text{расчет}}^2} = \frac{8 \cdot 4181,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot 240 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2}{4,5^2 \text{ м}^2} \cdot 10^{-3} = 396,5 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

Снижение несущей способности вследствие коррозии:

$$\frac{p_1 - p_2}{p_1} \cdot 100\% = \frac{456,1 - 396,5}{456,1} \cdot 100\% = 13,07\%.$$

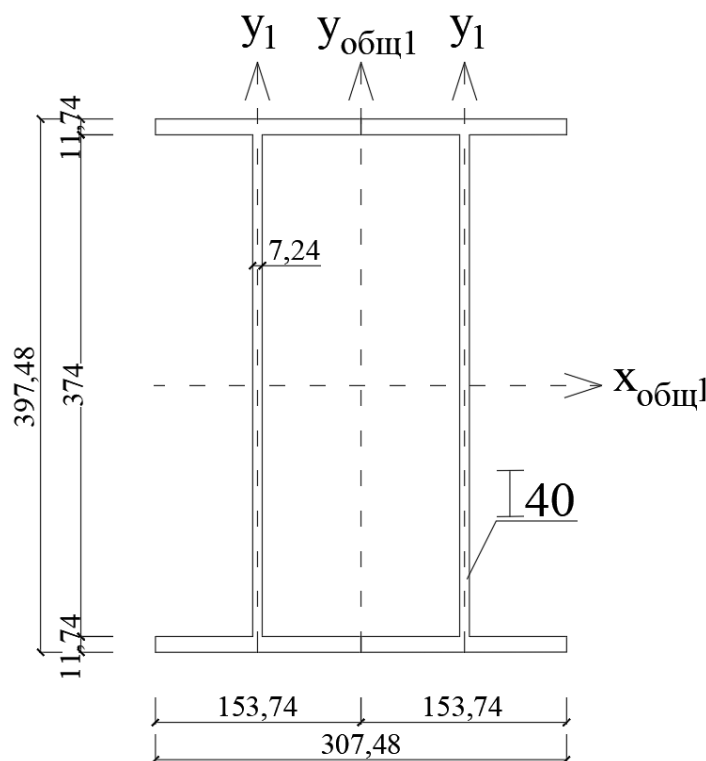


Рис. 4. Сечение балки после коррозии

Вывод: предельно-допустимая нагрузка p для балки после коррозии составляет 396,5 кН/м, несущая способность балки снизилась на 13,07%.

Пример 3. Требуется определить несущую способность металлической колонны с разрушенной противокоррозионной защитой

Исходные данные:

- сечение колонны из двух швеллеров № 40 и двутавра № 30 (рис. 4);
- сталь марки С285 с $R_y = 260$ МПа;
- число возобновления защиты $q = 2$;
- срок службы конструкции с разрушенной противокоррозионной защитой $\tau = 5$ лет и $\tau = 7$ лет;
- среда слабоагрессивная;
- геометрическая длина колонны $L_{\text{геометр}} = 5,1$ м.
- расчетная схема колонны приведена на рис. 5.

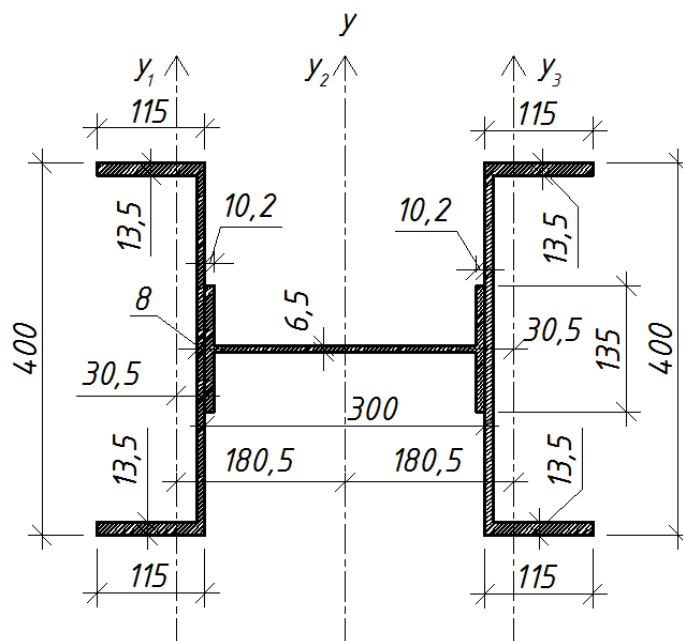


Рис. 5. Сечение колонны до начала эксплуатации



Рис. 6. Схема закрепления колонны

Геометрические характеристики для швеллера:

$$A = 61,50 \text{ см}^2; J_y = 760 \text{ см}^4; z_0 = 3,05 \text{ см}; h = 400 \text{ мм}; b = 115 \text{ мм}.$$

для двутавра

$$A = 46,50 \text{ см}^2; J_y = 337 \text{ см}^4; h = 300 \text{ мм}; b = 135 \text{ мм}.$$

Условие прочности для центрально сжатых элементов

$$N \leq \varphi AR_y,$$

где $\varphi = 0,950$ – коэффициент устойчивости при центральном сжатии, определяемый по [6, табл. 7.20];

$$J_{\text{общ}} = J_1 + J_2 + J_3;$$

$$J_1 = J_{y1} + a^2 A_1;$$

$$J_2 = J_{y2} + b^2 A_2;$$

$$J_3 = J_{y3} + c^2 A_3;$$

$$J_1 = 760 + (3,05 + 15)^2 \cdot 61,5 = 20\,796,9 \text{ см}^4;$$

$$J_2 = 337 + (0)^2 \cdot 46,5 = 337 \text{ см}^4;$$

$$J_3 = 760 + (3,05 + 15)^2 \cdot 61,5 = 20\,796,9;$$

$$J_{\text{общ}1} = 20796,9 + 337 + 20796,9 = 41930,7 \text{ см}^4;$$

$$A_{\text{общ}1} = 61,5 + 46,5 + 61,5 = 169,5 \text{ см}^2.$$

где $A_{\text{общ}1}$ – площадь сечения до начала эксплуатации; $J_{\text{общ}1}$ – момент инерции сечения до начала эксплуатации.

$$i_{y \text{ общ}1} = \sqrt{I_{y \text{ общ}1} / A_{\text{общ}1}} = \sqrt{41930,7 / 169,5} = 15,73 \text{ см};$$

$$L_0 = L_{\text{геометр}} \mu = 5,1 \cdot 0,7 = 3,57 \text{ м};$$

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\text{min общ}1}} = 357 / 15,73 = 23,23,$$

$$N \leq 0,950 \cdot 169,5 \cdot 10^{-4} \cdot 260 \cdot 10^3 = 4186,65 \text{ кН}.$$

Определяем среднюю толщину коррозии:

$$t_{mt} = \sum_{i=1}^q k \tau_i^B = 0,3 \cdot 7^{0,5} + 0,3 \cdot 5^{0,5} = 1,465 \text{ мм},$$

где $k = 0,3$ мм/год; $B = 0,5$ – коэффициенты, принимаемые в зависимости от условий эксплуатации (слабоагрессивная среда).

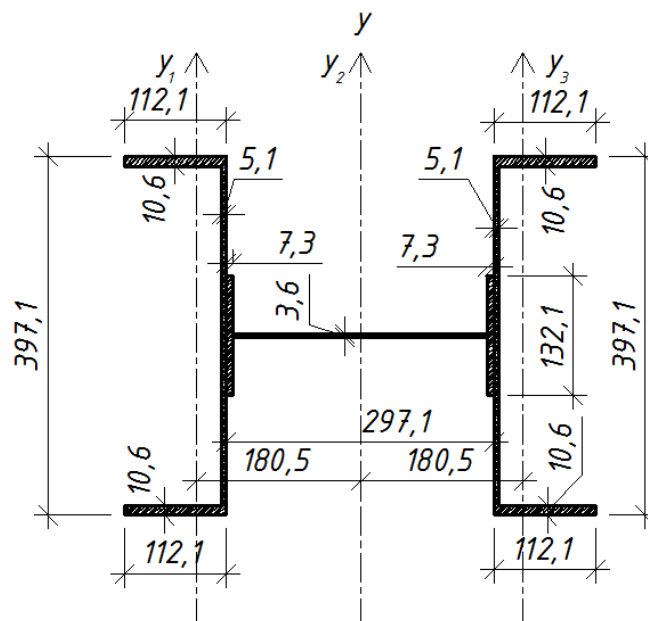


Рис. 7. Сечение колонны после срока эксплуатации

Характеристики поперечного сечения с учетом коррозии для швеллера:

$$A = 43,28 \text{ см}^2; J_y = 550,7 \text{ см}^4; h = 397,1 \text{ мм}; b = 112,1 \text{ мм}.$$

Для двутавра

$$A = 29,99 \text{ см}^2; J_y = 279,2 \text{ см}^4; h = 297,1 \text{ мм}; b = 132,1 \text{ мм};$$

$$J_1 = 550,7 + (3,05 + 14,9)^2 \cdot 43,28 = 14\,495,69 \text{ см}^4;$$

$$J_2 = 279,2 + (0)^2 \cdot 29,99 = 279,2 \text{ см}^4;$$

$$J_3 = 550,7 + (3,05 + 14,9)^2 \cdot 43,28 = 14\,495,69 \text{ см}^4;$$

$$J_{\text{общ}2} = 14\,495,69 + 279,2 + 14\,495,69 = 29\,270,47 \text{ см}^4;$$

$$A_{\text{общ}2} = 43,28 + 29,99 + 43,28 = 116,55 \text{ см}^2.$$

где $A_{\text{общ}2}$ – площадь сечения после эксплуатации; $J_{\text{общ}2}$ – момент инерции сечения после эксплуатации.

$$i_{y \text{ общ}2} = \sqrt{I_{y \text{ общ}2} / A_{\text{общ}2}} = \sqrt{29\,270,47 / 116,55} = 15,85 \text{ см};$$

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\min \text{ общ}1}} = 357 / 15,85 = 22,52;$$

$$N \leq 0,952 \cdot 116,55 \cdot 10^{-4} \cdot 260 \cdot 10^3 = 2884,84 \text{ кН}.$$

Несущая способность колонны по истечении срока эксплуатации составляет 2884,84 кН.

7. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ИХ ПОВРЕЖДЕНИЯМ

Повреждения в конструкции разделяются в зависимости от причин их возникновения на две группы: от силовых воздействий и от воздействия внешней среды. Последняя группа повреждений снижает не только прочность конструкции, но и уменьшает ее долговечность. В зависимости от имеющейся поврежденности и надежности, техническое состояние конструкций разделяется на 5 категорий: нормальное, удовлетворительное, не совсем удовлетворительное, неудовлетворительное, аварийное (табл. 2).

Влияние повреждений на надежность конструкций оценивается посредством уменьшения общего нормируемого коэффициента надежности (запаса) $\gamma_o = \gamma_m \gamma_c \gamma_f \gamma_n$ конструкций в процессе эксплуатации, где γ_m – коэффициент надежности по материалу; γ_c – коэффициент условий работы; γ_f – коэффициент надежности по нагрузке; γ_n – коэффициент надежности по назначению.

Относительная надежность конструкции при эксплуатации $J = \gamma/\gamma_o$ и поврежденность конструкции

$$\varepsilon = 1 - J,$$

где γ – фактический коэффициент надежности конструкции с учетом имеющихся повреждений.

Оценка технического состояния стальных, железобетонных и каменных конструкций должна проводиться по максимальному повреждению на длине конструкции. Для оценки категории состояния конструкции необходимо наличие хотя бы одного признака, приведенного в гр. 2, 3 прил. 3 – 5.

Общая оценка поврежденности здания и сооружения производится по формуле

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 \alpha_1 + \varepsilon_2 \alpha_2 + \dots + \varepsilon_n \alpha_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}, \quad (7)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ – максимальная величина повреждений отдельных видов конструкций; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ – коэффициенты значимости отдельных видов конструкций.

При оценке величин повреждений учитывают их максимальную величину, так как авария здания или сооружения обычно происходит из-за наличия критического дефекта в отдельно взятой конструкции.

Коэффициенты значимости конструкций устанавливаются на основании экспертных оценок, учитывающих социально-экономические последствия разрушения отдельных видов конструкций, характера разрушения (разрушение с предварительным оповещением посредством развития пластических деформаций или мгновенное хрупкое разрушение). При отсутствии данных коэффициенты значимости принимаются: для плит и панелей перекрытия и покрытия $\alpha = 2$, для балок $\alpha = 4$, для ферм $\alpha = 7$, для колонн $\alpha = 8$, для несущих стен и фундаментов $\alpha = 3$, для прочих строительных конструкций $\alpha = 2$. На практике иногда они могут быть приняты по соображениям последствий разрушения конструкций, то есть какое количество обрушений различных конструкций повлечет обрушение данной конструкции.

Относительная оценка надежности здания или сооружения производится по формуле

$$J = 1 - \varepsilon. \quad (8)$$

Величину повреждения строительных конструкций через t лет ее эксплуатации определяют по формуле

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda_i t}; \quad (9)$$

$$\lambda_i = \frac{-\ln I_i}{t_\phi}, \quad (10)$$

где λ_i – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования; J – относительная надежность, определяемая по категории технического состояния конструкции в зависимости от ее повреждений по табл. 2; t_ϕ – срок эксплуатации в годах на момент обследования.

Срок эксплуатации конструкции до капитального ремонта в годах определяется по формуле

$$t_i = \frac{0,162}{\lambda_i}. \quad (11)$$

2. Категории технического состояния

Категория технического состояния	Описание технического состояния	$J = \gamma/\gamma_0$	$\varepsilon = 1 - J$	C, %
1	Нормальное состояние. Отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности. Необходимости в ремонтных работах нет	1	0	0
2	Удовлетворительное состояние. Незначительное снижение несущей способности и долговечности конструкций. Требуется устройство антикоррозионного покрытия, затирка трещин и т.п.	0,95	0,05	0 – 11
3	Не совсем удовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт	0,85	0,15	12 – 36
4	Неудовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкции. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение нагрузок	0,75	0,25	37 – 90
5	Аварийное состояние. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, замена аварийных конструкций	0,65	0,35	91 – 120

Пример 4. Требуется определить техническое состояние, оценить надежность и время капитального ремонта промышленного одноэтажного здания с учетом значимости строительных конструкций.

Здание имеет следующие характеристики: здание 2-пролетное – один пролет 18 м, второй – 12 м. Колонны К1, К2, К3, К4, К5, К6 железобетонные прямоугольного сечения, несущие конструкции покрытия двускатные решетчатые балки – Б1, Б2, Б3, Б4 по которым укладываются ребристые плиты покрытия размером 6×3 м (рис.7, 8). Маркировка колонн и балок принята в зависимости от расположения конструкций в плане. Срок эксплуатации здания – 20 лет.

На основании визуального обследования здания установлены следующие величины повреждений различных несущих конструкций:

– железобетонные колонны – на отдельных участках с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры или хомутов, шелушение ребер конструкций, на поверхности бетона мокрые или масляные пятна, категория состояния 2 (прил. 4), средняя величина повреждений колонн по табл.2 – $\varepsilon = 0,1$;

– стропильные балки покрытия – продольные трещины от коррозии вдоль рабочей арматуры, снижение прочности бетона до 20% в отдельных балках, категория состояния 3 (прил. 4), Средняя величина повреждений стропильных балок по табл. 2 – $\varepsilon = 0,15$;

– железобетонные плиты покрытия – продольные трещины от коррозии вдоль рабочей арматуры, коррозия арматуры до 10% площади поперечного сечения стержней и снижение прочности бетона до 20% в отдельных плитах 3 категории состояния (прил. 4). Средняя величина повреждений плит покрытий по табл. 2 – $\varepsilon = 0,15$;

Категория технического состояния здания определяется по формуле (7), где коэффициенты значимости α_i для каждой несущей конструкции здания в сечении 1–1 (см. рис. 7, 8) были приняты по соображениям последствий разрушения конструкций, то есть какое количество обрушений различных конструкций повлечет обрушение данной конструкции.

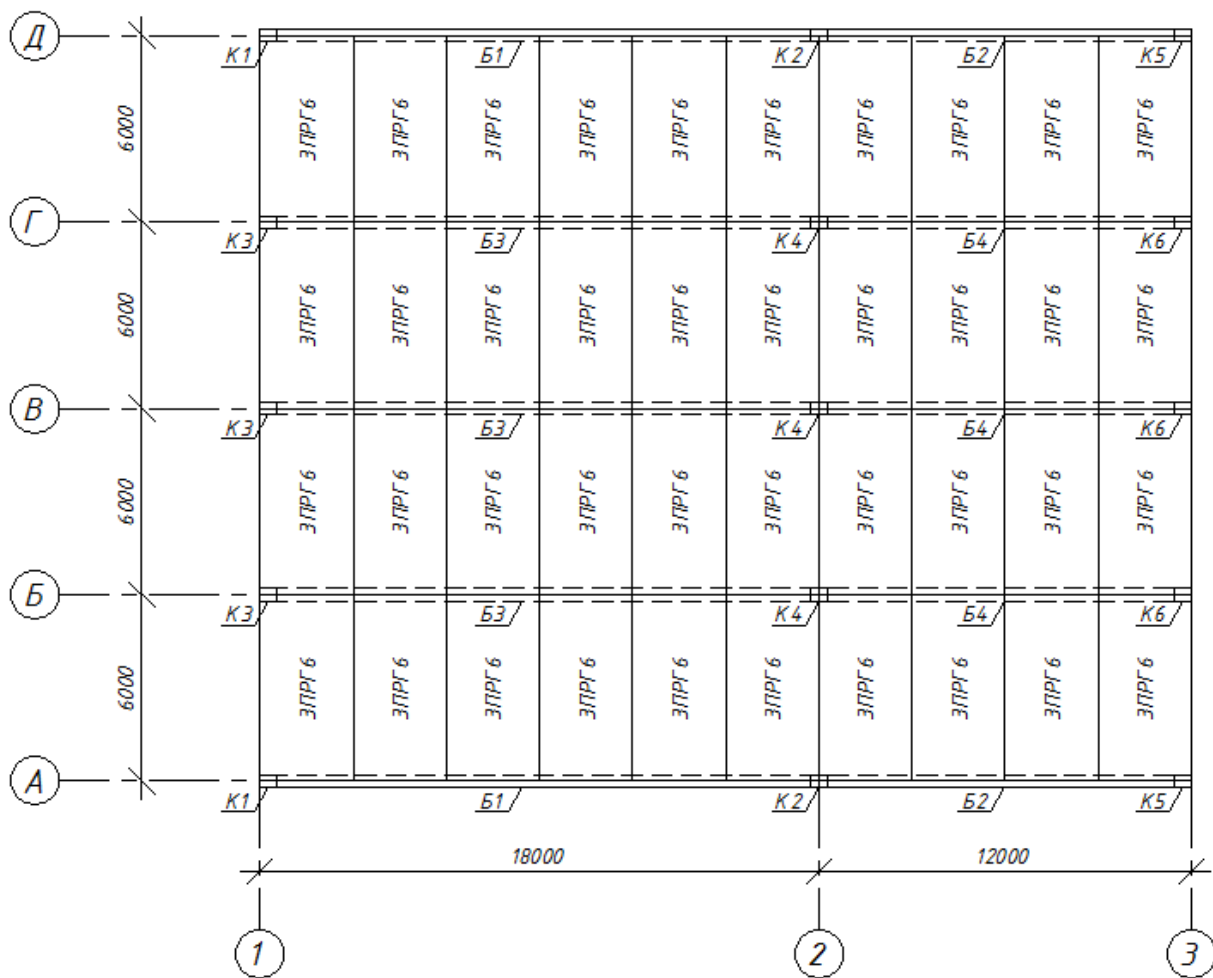


Рис. 8. План расположения основных несущих конструкций здания

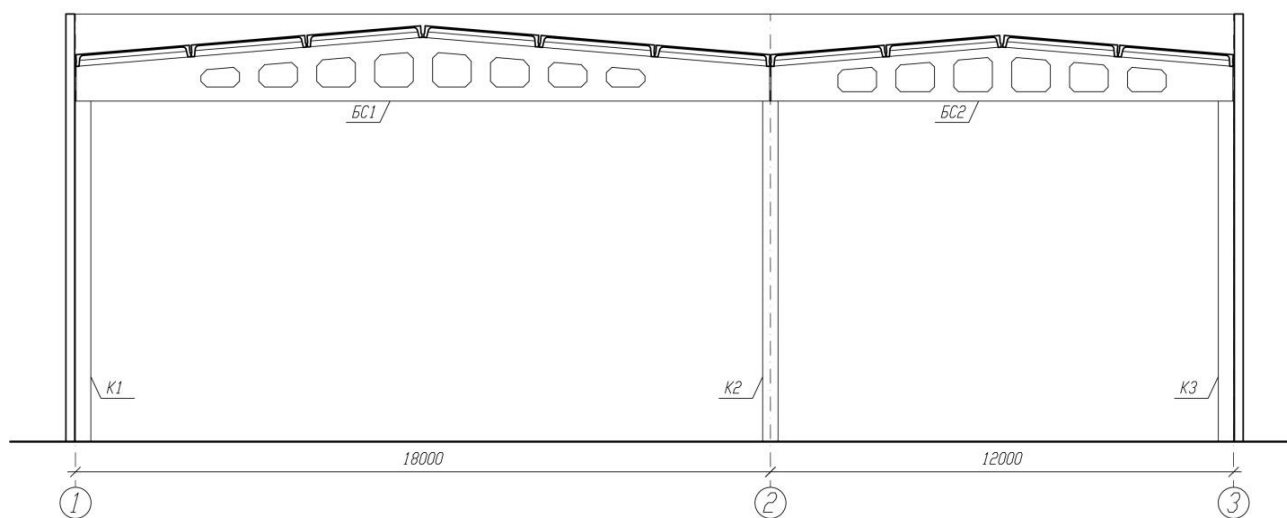


Рис. 9. Поперечный разрез здания

1. Обрушение одной плиты покрытия ЗПРГ6 не повлечет обрушения других конструкций. Следовательно, $\alpha_1 = 1$;

2. Обрушение крайней стропильной балки Б1 пролетом 18м повлечет обрушения шести опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_2 = 7$;

3. Обрушение крайней стропильной балки Б2 пролетом 12м повлечет обрушения четырех опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_3 = 5$;

4. Обрушение средней стропильной балки Б3 пролетом 18м повлечет обрушения двенадцати опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_4 = 13$;

4. Обрушение средней стропильной балки Б4 пролетом 12м повлечет обрушения восьми опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_5 = 9$;

6. Обрушение угловой колонны К1 по оси 1 повлечет обрушения стропильной балки Б1 и шести опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_6 = 8$;

7. Обрушение крайней колонны по оси 2-К2 повлечет обрушения балок Б1 и Б2 и десяти опирающихся на них плит покрытия. Следовательно, $\alpha_7 = 13$;

8. Обрушение второй колонны по оси 1-К3 повлечет обрушения стропильной балки Б1 и двенадцати опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_8 = 14$;

9. Обрушение второй колонны по оси 2-К4 повлечет обрушения балок Б1 и Б2 и двадцати опирающихся на них плит покрытия. Следовательно, $\alpha_9 = 23$;

10. Обрушение угловой колонны К5 по оси 3 повлечет обрушения стропильной балки Б2 и четырех опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_{10} = 6$;

11. Обрушение второй колонны по оси 3-К6 повлечет обрушения стропильной балки Б4 и восьми опирающихся на нее плит покрытия. Следовательно, $\alpha_{11} = 10$.

По формуле (7) общая оценка поврежденности здания

$$\varepsilon = \frac{0,2 \cdot 1 + 0,15 \cdot 7 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 13 + 0,15 \cdot 9 + 0,1 \cdot 8 + 0,1 \cdot 13 + 0,1 \cdot 13}{1 + 7 + 5 + 13 + 9 + 8 + 13 + 14 + 23 + 6 + 10} + \frac{0,1 \cdot 14 + 0,1 \cdot 23 + 0,1 \cdot 6 + 0,1 \cdot 10}{1 + 7 + 5 + 13 + 9 + 8 + 13 + 14 + 23 + 6 + 10} = 0,117.$$

Относительная оценка надежности здания по формуле (8):

$$I = 1 - 0,117 = 0,883.$$

По найденному значению $I = 0,883$ и табл. 1 данное здание относится к 3 категории технического состояния. Здание находится не совсем в удовлетворительном состоянии. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт.

Для определения времени капитального ремонта по формуле (8) определяется относительная надежность для каждой конструкции здания – плиты покрытия, балки, колонны

$$I_{\text{пл}} = 1 - 0,15 = 0,85;$$

$$I_{\text{бал}} = 1 - 0,15 = 0,85;$$

$$I_{\text{кол}} = 1 - 0,1 = 0,9.$$

Постоянная износа каждой конструкции по формуле (10)

$$\lambda_{\text{пл}} = \frac{-\ln 0,85}{20} = 0,008;$$

$$\lambda_{\text{бал}} = \frac{-\ln 0,85}{20} = 0,008;$$

$$\lambda_{\text{кол}} = \frac{-\ln 0,9}{20} = 0,005.$$

Срок эксплуатации конструкции до капитального ремонта по формуле (11):

$$t_{\text{пл}} = \frac{0,162}{0,008} = 20,25 \text{ лет};$$

$$t_{\text{бал}} = \frac{0,162}{0,008} = 20,25 \text{ лет};$$

$$t_{\text{кол}} = \frac{0,162}{0,005} = 32,4 \text{ года}.$$

По минимальному значению t_i для каждой конструкции заключаем, что капитальный ремонт здания следует проводить через 20 лет и три месяца после начала эксплуатации. Следовательно, для срока эксплуатации $t_{\text{ф}} = 20$ лет необходимо незамедлительно провести ремонтные работы.

8. ОТБОР ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИЙ

В процессе обследования отбирают образцы бетона и стали для проведения физико-механических и физико-химических исследований в лабораторных условиях. Для оценки степени агрессивных воздействий отбирают также пробы грунтов, грунтовых вод, пыли, технической воды, натечных образований и др.

Количество образцов бетона, отбираемых для дальнейших физико-химических исследований, должно составлять не менее трех из каждой генеральной совокупности. Кроме того, дополнительно отбирают образцы (не менее трех) на участках, где состояние конструкций отличается от состояния основной массы однотипных элементов. Если по результатам определения показателей значения, установленные на основе испытаний трех образцов одной партии, отличаются между собой более чем на 30%, из этой конструкции дополнительно отбирают не менее шести образцов.

Количество образцов арматурной стали, отбираемых для лабораторных исследований (с целью контроля класса стали) должно составлять не менее трех для каждого проверяемого класса арматуры, примененного при строительстве объекта. Для определения прочностных и деформативных характеристик арматуры неизвестного класса число образцов должно быть не менее десяти. Длина вырезаемых стержней должна быть не менее $l = 8d + 200$ мм, где d – диаметр арматуры.

Отбор образцов арматуры и стружки для химических анализов производится на участках конструкций с возможно меньшими напряжениями с последующим восстановлением площади сечения стержней накладками.

Стружку отбирают, как правило, с помощью ручной электродрели после тщательной зачистки поверхности до металлического блеска. Если из существующих элементов извлекают образцы арматуры, стружку рекомендуется отбирать из этих образцов после механических испытаний. В случае затруднений

с извлечением образцов указанной выше длины допускается отбор отрезков меньшей длины с последующим изготовлением образцов в соответствии с требованием ГОСТ.

При отборе образцов арматуры классов А-II и А-III для испытания на растяжение из сварных каркасов рекомендуется выбирать отрезки стержней арматуры с включением участков поперечной приварки с целью выявления влияния сварки на прочностные и деформативные свойства арматуры. Образцы с участками сварки особенно желательны в случаях наличия коррозии арматуры. При таких образцах выточка из них стандартных образцов по ГОСТ не рекомендуется.

Отбор образцов бетона из существующих конструкций производится отколом, выпиливанием или высверливанием. Для выпиливания выбирают участки конструкций без арматуры.

Метод извлечения образцов выбирают в зависимости от вида испытания, массивности сооружения и наличия инструментов, способных обеспечить извлечение образцов и целостность исследуемой конструкции.

Глубина отбора проб бетона назначается с учетом результатов колориметрических испытаний. Размер проб должен выбираться с учетом максимальной крупности заполнителя.

Взятые пробы бетона для химических исследований должны сразу помещаться в пластиковые пакеты или бьюксы и герметизироваться. Масса каждого образца назначается в зависимости от видов намеченных исследований.

Исследования проб из стальных элементов

При отсутствии необходимой документации и информации класс арматурных сталей устанавливается испытанием вырезанных из конструкции образцов с сопоставлением предела текучести, временного сопротивления и относительного удлинения при разрыве с данными ГОСТ, или приближенно по виду арматуры, профилю арматурного стержня и времени возведения объекта.

Расположение, количество и диаметр арматурных стержней определяется либо путем вскрытия и прямых замеров, либо применением магнитных или радиографических методов.

Для определения механических свойств стали поврежденных конструкций рекомендуется использовать методы: испытания образцов, вырезанных из элементов конструкций; испытания по твердости поверхностного слоя металла.

Заготовки для образцов из поврежденных элементов рекомендуется вырезать в местах, не получивших пластических деформаций при повреждении, и чтобы после вырезки были обеспечены их прочность и устойчивость. При отборе заготовок для образцов элементы конструкций разделяют на условные партии по 10 – 15 однотипных конструктивных элементов: ферм, балок, колонн и др.

Заготовки для образцов рекомендуется отбирать в трех однотипных элементах конструкций (верхний пояс, нижний пояс, первый сжатый раскос и т.п.) в количестве 1–2 шт. из одного элемента.

Все заготовки должны быть замаркированы в местах их взятия и марки обозначены на схемах, прилагаемых к материалам обследования конструкций.

Характеристики механических свойств стали – предел текучести σ_T , временное сопротивление σ_B , относительное удлинение при разрыве δ получают путем испытания на растяжение образцов.

Определение основных расчетных сопротивлений стали конструкций производится путем деления среднего значения предела текучести на коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1,05$ или временного сопротивления на коэффициент надежности $\gamma = 1,05$. При этом за расчетное сопротивление принимается наименьшая из величин R_T , R . При определении механических свойств металла по твердости поверхностного слоя рекомендуется применять портативные переносные приборы: Польди-Хютта, Баумана, ВПИ-2, ВПИ-3к и др.

Выявленные фактические характеристики арматуры сопоставляются с нормативными требованиями и на этой основе дается оценка эксплуатационной пригодности арматуры.

Исследование коррозионных поражений на образцах, отобранных из стальных элементов, производят, как правило, в тех случаях, когда отбор образцов связан с необходимостью установления действительных механических характеристик стали. Возможны случаи отбора образцов специально для коррозионных исследований, например, из демонтируемых по условиям реконструкции конструкций, по которым можно судить о коррозионных поражениях сохраняемых элементов, а также для прогнозирования долговечности конструкций.

С отобранных образцов в лабораторных условиях в первую очередь удаляют продукты коррозии стали, погружая их в 10%-ный раствор серной кислоты с добавкой 1%-ного формалина или уротропина (ингибиторы). Температура раствора может быть комнатной, а в случае трудноудаляемых продуктов коррозии раствор рекомендуется нагревать до температуры 70...80 °С.

Продолжительность снятия продуктов коррозии зависит от состояния образца, изменяясь от получаса до нескольких часов. В последнем случае образцы рекомендуется каждый час извлекать из раствора и протирать металлической щеткой в проточной воде. После полного удаления продуктов коррозии образцы промывают в воде и сразу же погружают на несколько минут в щелочной раствор (например, едкого натра, соды). Последняя операция необходима для нейтрализации остатков кислоты на стальной поверхности, приводящих к образованию налета ржавчины.

После снятия продуктов коррозии измеряют микрометром общую толщину образца t_{gen} не менее чем в пяти точках. Затем определяют (при наличии) глубину местных коррозионных поражений t_{loc} . При этом лучше всего использовать индикатор с иглой, закрепленный на подставке или на кронштейне. На каждой стороне поверхности образца измеряют не менее 20 – 30 местных поражений, выбирая их случайным образом. Для этого можно, например, нанести карандашом на поверхность образца квадратную сетку и измерять ближайšie к узлам сетки коррозионные поражения.

Механические испытания проводят на двух образцах: с обработанной поверхностью и с необработанной (с коррозионными поражениями) поверхностью.

I служит для определения механических характеристик стали, а *II* – для оценки влияния коррозии на механические свойства.

Механические испытания образцов с необработанной поверхностью проводят на стандартных плоских, коротких, с головкой образцах. При этом обрабатывают только боковые поверхности образца.

Площадь сечения прокорродированного образца F_o определяют по формуле

$$F_o = b_o t_k,$$

где b_o – ширина рабочей части образца; t_k – средняя толщина рабочей части образца с учетом местной коррозии.

При местной коррозии t_k определяют по формуле

$$t_k = t_{gen} - 0,01 F_k t_{loc}. \quad (12)$$

Исследование проб из железобетонных элементов. Лабораторное определение прочности бетона существующих конструкций производится путем испытания образцов, взятых из этих конструкций.

При лабораторных исследованиях образцов, отобранных из железобетонных конструкций, определяют:

- прочность, влажность, водопоглощение и пористость бетона;
- щелочность бетона, водорастворимость компонентов, содержание ионов, и других веществ; расчетные параметры стальной арматуры.

Определение прочности бетона производят испытанием на сжатие образцов, извлеченных из конструкций (кубов, цилиндров).

Результаты испытания приводят к кубиковой прочности бетона умножением на коэффициент, определяемый по соотношению прочности бетона кернов (соответствующих по форме и размерам кернам, отобранным из конструкций), высверленных из кубов, и прочности самих кубов.

Отбор образцов производится путем выпиливания кернов диаметром от 50 до 150 мм на участках, где ослабление элемента не оказывает существенного влияния на несущую способность конструкций. Этот метод дает наиболее достоверные сведения о прочности бетона в существующих конструкциях. Недостатком его является большая трудоемкость работ по отбору и обработке образцов.

Сущность метода состоит в изменении минимальных усилий, разрушающих выбуренные или выпиленные из конструкций образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки.

Допускается применение цилиндров диаметром от 44...150 мм, высотой от 0,8 до 2 диаметров при определении прочности на растяжение при скалывании и от 1,0 до 4 диаметров при определении прочности при осевом растяжении.

За базовый при всех видах испытаний принимают образец с размером рабочего сечения 150×150 мм.

Места отбора проб бетона следует назначать после визуального осмотра конструкций зависимости от их напряженного состояния с учетом минимального возможного снижения их несущей способности. Пробы рекомендуется отбирать из мест, удаленных от стыков и краев конструкций. После извлечения проб места отбора следует заделывать мелкозернистым бетоном, из которого изготовлены конструкции.

Участки для выбуривания или выпиливания проб бетона следует выбирать в местах, свободных от арматуры.

Для выбуривания образцов из бетона конструкций применяют сверлильные станки с режущим инструментом в виде кольцевых алмазных свел типа СКА или твердосплавных концевых сверл.

Для выпиливания образцов из бетона конструкций применяют распиловочные станки с режущим инструментом в виде отрезных алмазных дисков типа АОК.

Опорные поверхности испытываемых на сжатие образцов, в случае, когда их отклонения от поверхности плиты пресса более 0,1 мм, должны быть выправлены нанесением слоя выравнивающего состава. Для этого используют цементное тесто, цементно-песчаный раствор или эпоксидные композиции. Толщина слоя выравнивающего состава на образце должна быть не более 5 мм.

Прочность бетона испытываемого образца с точностью до 0,1 МПа при испытании на сжатие и с точностью до 0,01 МПа при испытаниях на растяжение вычисляются по формулам на:

- сжатие $R_{обр} = F/A$;
- осевое растяжение $R_{тобр} = F/A$;
- растяжение при скалывании $R_{ttобр} = 2F/\pi A$;
- растяжение при изгибе $R_{ffобр} = F_1/ab_2$,

где F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь рабочего сечения образца, мм²; f, b, l – соответственно ширина и высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами при испытании образцов на растяжение при изгибе, мм.

Для проведения прочности бетона в испытанном образце к прочности бетона в образце базового размера и формы прочности, полученные по указанным формулам, пересчитывают по формулам на:

- сжатие $R = R_{обр}\alpha_1$;
- осевое растяжение $R_t = R_{тобр}\beta$;
- растяжение при скалывании $R_{tt} = R_{ttобр}\gamma\eta^2$;
- растяжение при изгибе $R_{ffобр} = R_{ffобр}\delta$,

где η_1 и η_2 – коэффициенты, учитывающие отношение высоты цилиндра к его диаметру, применяемые при испытаниях на сжатие по табл. 1, при испытаниях на растяжение при скалывании по табл. 2 и равные единице для образцов другой формы; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – масштабные коэффициенты, учитывающие форму и размеры поперечного сечения испытанных образцов, которые принимают по табл. 3 – 6 или определяют экспериментально.

**3. Значения коэффициентов, учитывающих отношение высоты (H)
и диаметра (D) образца при испытаниях на сжатие**

$\frac{h}{d}$	от 0,85 до 0,94	от 0,95 до 1,04	от 1,05 до 1,14	от 1,15 до 1,24	от 1,25 до 1,34	от 1,35 до 1,44	от 1,45 до 1,54	от 1,55 до 1,64	от 1,65 до 1,74	от 1,75 до 1,84	от 1,85 до 1,95	от 1,95 до 2,0
n_1	0,96	1,0	1,04	1,08	1,1	1,12	1,13	1,14	1,16	1,18	1,19	1,2

**4. Значения коэффициентов, учитывающих отношение высоты (H)
и диаметра (D) образца при испытаниях на растяжение**

$\frac{h}{d}$	$\leq 1,04$	1,05...1,24	1,25...1,44	1,45...1,64	1,65...1,84	1,85...2,0
n_2	1,0	1,02	1,04	1,07	1,1	1,13

**5. Масштабные коэффициенты, учитывающие форму
и размеры поперечного сечения призматического образца**

Размеры образцов: ребро куба или сторона квадратной призмы, мм	Сжатие α	Растяжение при раскалывании γ		Растяжение при изгибе σ	Осевое растяжение β
	все вида бетонов	тяжелый бетон	мелкозернистый бетон	тяжелый бетон	
70	0,85	0,78	0,87	0,86	0,8
100	0,95	0,88	0,92	0,92	0,92
150	1	1	1	1	1
200	1,05	1,1	1,05	1,15	1,08

6. Масштабные коэффициенты, учитывающие форму и размеры поперечного сечения цилиндрического образца

$R_{\text{обр}}$, МПа	Коэффициент α при испытаниях на сжатие цилиндров диаметром, мм			
	50 ± 6	63 ± 6	80 ± 10	>90
<15	1,1	1,06	1,02	1
15...25	1,07	1,04	1,01	1
25...35	1,03	1,01	1,01	1
35...45	0,96	0,97	0,99	1
45...55	0,88	0,92	0,97	1
>55	0,8	0,83	0,95	1

Определение влажности производится на отобранных из конструкций пробах в виде отдельных кусков, которые далее дробят на части.

Наибольшая крупность раздробленной части бетона должна быть не более максимального размера зерен заполнителя. Дробление и взвешивание пробы производят сразу же после ее отбора, а хранение до испытания – в герметичной упаковке, объем которой превышает объем уложенных в нее образцов не более чем в 2 раза.

После взвешивания пробы помещают в сушильный шкаф и высушивают до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С.

Влажность бетона по массе ω_m , %, вычисляют по формуле

$$\omega_m = \frac{(m_h - m_d)}{m_h} \cdot 100, \quad (13)$$

где m_h и m_d – масса пробы (образца), г, соответственно до и после сушки.

Отобранные из конструкций образцы бетона для определения его водопоглощения и пористости в зависимости от крупности зерен заполнителя должны иметь следующую минимальную массу:

Наибольший размер зерен заполнителя, мм	10	20	40
Масса пробы, г	100	200	800

Каждый образец взвешивают и помещают в воду до полного водонасыщения. Для ускорения процесса водопоглощения воду с образцами можно доводить до кипения и выдерживать в кипящей воде 2 ч.

Насыщенные водой образцы бетона обтирают влажным материалом и взвешивают на воздухе (G_2) и в воде на гидростатических весах (G_3), после чего высушивают в сушильном шкафу при температуре не выше 100 °С

При наличии вакуум-установки образцы насыщают водой под вакуумом. По данным этих испытаний:

- объемная масса бетона, кг/м³, в сухом состоянии

$$V_{md} = \frac{G_4}{(G_2 - G_3)} \cdot 1000; \quad (14)$$

- объемная масса бетона в насыщенном состоянии

$$V_{mh} = \frac{G_2}{(G_2 - G_3)} \cdot 1000; \quad (15)$$

- водонасыщение бетона

$$\omega_b = \frac{(G_2 - G_4)}{G_4} \cdot 100; \quad (16)$$

- пористость бетона

$$Q = \frac{(G_2 - G_4)}{(G_2 - G_3)} \cdot 100. \quad (17)$$

Бетон на плотных заполнителях считается плотным при $\omega_b \leq 5$ и $Q \leq 1$; обычным – при $5 < \omega_b \leq 8$ и $11 < Q \leq 18$; пористым при $\omega_b > 8$ и $Q > 18$ %.

Определение рН водной вытяжки цементного камня

Величину рН водной вытяжки цементного камня измерением электрических свойств с помощью рН-метра (например, рН-340 и др.) определяют в случае, когда необходимо точно знать степень и границы изменения щелочности бетона (при прогнозировании долговечности конструкций и т.п.).

Существует несколько методов подготовки проб для таких испытаний, отличающихся между собой по времени выдержки (от нескольких десятков минут до нескольких суток), по размеру твердых частиц (от 0,08 до 5 мм),

по соотношению твердой и жидкой фаз в суспензии (от 1:100 до 1:5) и способу ее выдерживания (с механическим или ручным встряхиванием либо без него). Проведенные в Харьковском Промстройниипроекте исследования показали, что полученные значения рН на одном и том же материале в зависимости от принятой методики (варьируется перечисленными факторами) могут отличаться на 0,32 единицы рН. Такое отличие для случая, например, прогнозирования долговечности бетона в сравнительно малом диапазоне допустимого изменения рН (1...1,5 ед.) имеет существенное значение.

Рекомендуется определять рН по следующей методике. Растворную составляющую бетона следует измельчить в фарфоровой ступке до размеров зерна 0,1...0,5 мм. Навеску в 1...3 г залить 100 мл дистиллированной воды и хранить в закрытом пробкой сосуде в течение 10 мин. Измерять следует в течение 3 мин после отстаивания при постоянном перемешивании магнитной или другой мешалкой. Для каждой пробы проводить 3...5 определений рН.

Эти параметры получены в результате проведения специального эксперимента по схеме латинского квадрата. Статистический анализ этого квадрата показал, что наибольшую воспроизводимость обеспечивают рекомендуемые условия опыта.

В тех случаях, когда нельзя определить степень коррозионных повреждений и остаточную прочность бетона существующих конструкций по результатам механических испытаний образцов, рекомендуется для выявления степени износа бетона, а также для ориентировочной оценки влияния имевших место ранее эксплуатационных воздействий применить комплекс методов физико-химического анализа проб бетона (дифференциальный термический, фазовый рентгеновский, оптико-микроскопический, определения капиллярного водопоглощения, метод рН-метрии).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из главных задач при строительстве и эксплуатации зданий и инженерных сооружений является обеспечение надежности, гарантирующей их безопасность, способность сохранять заданные функции в течение определенного срока службы.

В данном учебном пособии рассмотрены актуальные вопросы повышения надежности и долговечности различных видов строительных конструкций зданий и сооружений, методика определения их технического состояния, первичные и вторичные виды предотвращения коррозионного разрушения различных материалов, качество изготовления и монтажа конструкций.

Приведены численные примеры определения несущей способности конструкций с учетом влияния агрессивной среды и срока службы, времени до капитального ремонта зданий, порядок отбора образцов для проведения механических испытаний и физико-химических исследований материалов железобетонных и стальных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бедов, А. И.** Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / А. И. Бедов, В. Ф. Сапрыкин. – М. : Изд-во АСВ, 1995. – 192 с.
2. **Гарагаш, Б. А.** Надежность пространственных регулируемых систем «сооружение-основание» при неравномерных деформаций оснований / Б. А. Гарагаш. – Сочи : Изд-во «Кубаньково», 2004. – 32 с.
3. **Валь, В. Н.** Усиление стальных каркасов одноэтажных промышленных зданий при их реконструкции / В. Н. Валь., Е. В. Горохов, Б. Ю. Уваров. – М. : Стройиздат, 1987. – 220 с.
4. **ВСН 53-86(р).** Правила оценки физического износа жилых зданий / Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2003. – 80 с.
5. **ГОСТ 27751–88.** Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету : электронный справочник нормативных документов «Строй Инфо – ЭКСПЕРТ (Москва)».
6. **Добромыслов, А. Н.** Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам справ. : пособие / А. Н. Добромыслов. – М. : АСВ, 2004. – 72 с.
7. **Добромыслов, А. Н.** Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений справ. : пособие / А. Н. Добромыслов. – М. : АСВ, 2008. – 304 с.
8. **Жилые** и общественные здания : краткий справочник инженера-конструктора / Ю. А. Дыховичный, В. А. Максименко, А. Н. Кондратьев и др. ; под ред. Ю. А. Дыховичного. – 3-е изд. – М. : Стройиздат, 1991. – 656 с.
9. **Мальганов, А. И.** Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструируемых зданий / А. И. Мальганов, В. С. Плевков, А. И. Полищук. – Томск, 1992. – 454 с.
10. **ГОСТ 27.002–89.** Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

11. **Кузнецов, Ю. Д.** Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при реконструкции промышленных предприятий / Ю. Д. Кузнецов, И. Н. Заславский. – К. : Будівельник, 1985. – 112 с.
12. **Обследование** и испытание сооружения : учеб. / В. Г. Казачек и др. – М. : Высшая школа, 2006. – 655 с.
13. **Пичугин, С. Ф.** Надежность стальных конструкций производственных зданий : монография / С. Ф. Пичугин. – М. : АСВ, 2011. – 456 с.
14. **Пухонто, Л. М.** Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений : монография / Л. М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.
15. **Райзер, В. Д.** Теория надежности сооружений : научное пособие / В. Д. Райзер. – М. : АСВ, 2010. – 384 с.
16. **Рекомендации** по определению технического состояния ограждающих конструкций при реконструкции промышленных зданий / ЦНИИпромзданий. – М. : Стройиздат, 1988. – 151 с.
17. **Рекомендации** по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский Промстройпроект. – М. : Стройиздат, 1990. – 176 с.
18. **Рекомендации** по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам / ЦНИИпромзданий. – М.: Стройиздат, 1989. – 112 с.
19. **Рекомендации** по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1989.
20. **Ройтман, А. Г.** Надежность конструкций эксплуатируемых зданий / А. Г. Ройтман. – М. : Стройиздат, 1985. – 175 с.
21. **Руководство** по обеспечению долговечности железобетонных конструкций предприятий черной металлургии при их реконструкции и восстановлении. – Стройиздат, 1982.
22. **СНиП 2.03.11–85.** Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 48 с.

23. **СП 13-102–2003.** Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений : электронный справочник нормативных документов «Строй Инфо – ЭКСПЕРТ (Москва)».

24. **СП 53-101–98.** Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций зданий и сооружений. – Одобр. и введен в действие постановлением Госстроя РФ от 17 мая 1999. № 37.

25. **СП 13-102–2003.** Правила обследования несущих строительных конструкции зданий и сооружений. – М. : Госстрой России, 2004. – 28 с.

26. **Ушаков, И. И.** Основы диагностики строительных конструкций / И. И. Ушаков, Б. А. Бондарев. – Ростов-н/Д : Феникс, 2008. – 204 с.

27. **Технический** регламент о безопасности зданий и сооружений : федеральный закон № 384 – ФЗ.

28. **Ферронская, А. В.** Долговечность конструкций из бетона и железобетона : учеб. пособие / А. В. Ферронская. – М. : АСВ, 2006. – 94 с.

29. **Шпете, Г.** Надежность несущих строительных конструкций / Г. Шпете ; пер. с нем. О. О. Андреева. – М. : Стройиздат, 1994. – 288 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

III. Толщина защитного слоя бетона

Арматурная сталь групп (см. табл. 9)	Толщина защитного слоя бетона для сборных конструкций и элементов, мм (над чертой) и марка по водопроницаемости бетона (под чертой) при степени агрессивного воздействия газообразной и твердой среды							
	слабо-агрессивная		средне-агрессивная			сильно-агрессивная		
I	20			20			25	
	W4			W6			W8	
II	25			25			25	
	W4			W6*			W8	
III	25			25			25	
	W6*			W8			W8	

* При проволочной арматуре классов В-II, Вр-II, К-7 и К-19 следует предусматривать применение бетона марки W8.

**П2. Категории требований к трещиностойкости
железобетонных конструкций в зависимости
от агрессивности внешней среды**

Арматурная сталь групп	Арматурная сталь классов	Категория требований к трещиностойкости железобетонных конструкций и предельно допустимая ширина непродолжительного и продолжительного раскрытия трещин, мм, при степени агрессивного воздействия газообразной и твердой среды на железобетон ¹		
		слабоагрес- сивная	среднеагрес- сивная	сильноагрес- сивная
I	A-I, A-II, A-III, B-I, Bp-I	<u>3</u> 0,25 (0,20)	<u>3**</u> 0,20 (0,15)	<u>3</u> 0,15 (0,10)
	A-IIIв, A-IV, AT-IVK	<u>3</u> 0,25 (0,20)	<u>3**</u> 0,15 (0,10)	<u>2</u> 0,10
	AT-III, AT-IIIС	<u>3</u> 0,25 (0,20)	Не допуска- ется к при- менению	Не допуска- ется к приме- нению
II	A-IVС, A-IVСК, A-IVK	<u>3</u> 0,15 (0,10)	<u>2***</u> 0,1	1
	B-I, Bp-II, K-7, K-19	<u>2</u> 0,10	<u>2</u> 0,05	1

Арматурная сталь групп	Арматурная сталь классов	Категория требований к трещиностойкости железобетонных конструкций и предельно допустимая ширина непродолжительного и продолжительного раскрытия трещин, мм, при степени агрессивного воздействия газообразной и твердой среды на железобетон ¹		
		слабоагрессивная	среднеагрессивная	сильноагрессивная
III	A-V, A-VI, AT-V, AT-VI	$\frac{2^*}{0,10}$	1	Не допускается к применению
	B-II, Bp-II, K-7, K-19 при диаметре проволок менее 3,5 мм	$\frac{2^*}{0,05}$	1	1

¹ Над чертой – категория требований к трещиностойкости; под чертой – допустимая ширина непродолжительного и продолжительного (в скобках) раскрытия трещин.

* Конструкции должны быть отнесены к 1-й категории требований по трещиностойкости при наличии сред, содержащих хлор, пыль хлористых, азотно-кислых и роданистых солей, хлористый водород, сероводород.

** В случае, когда среднеагрессивная степень воздействия определяется только влажностью и наличием углекислого газа, категорию требований по трещиностойкости и ширине раскрытия трещин допускается принимать как для слабоагрессивной среды.

Примечание. Термически упрочненная стержневая арматура с индексами «К» является стойкой против коррозионного растрескивания, «С» – свариваемой, «СК» – свариваемой, стойкой против коррозионного растрескивания.

ПЗ. Оценка состояния стальных конструкций по внешним признакам

Категория состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию
1	Нет	Нет
2	Нет	Местами разрушено антикоррозионное покрытие. На отдельных участках коррозия отдельными пятнами с поражением до 5% сечения. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 5%
3	Прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролета	Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения несущих элементов до 15%. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 15%. Погнутость узловых фасонок ферм
4	Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета. Потеря местной устойчивости конструкций (выпучивание стенок и поясов балок и колонн). Срез отдельных болтов или заклепок в многоболтовых соединениях	Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов до 25%. Трещины в сварных швах или в околошовной зоне. Механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 25%. Отклонения ферм от вертикальной плоскости более 15 мм. Расстройство узловых соединений от проворачивания болтов или заклепок

Категория состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию
5	<p>Прогибы изгибаемых элементов более $1/50$ пролета. Потеря общей устойчивости балок или сжатых элементов. Разрыв отдельных растянутых элементов ферм. Наличие трещин в основном материале элементов</p>	<p>Коррозия с уменьшением расчетного сечения и несущих элементов более 25%. Расстройство стыков со взаимным смещением опор</p>

П4. Оценка состояния железобетонных конструкций по внешним признакам

Категория состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию
1	Волосяные трещины (до 0,1 мм)	Имеются отдельные раковины, выбоины
2	Трещины в растянутой зоне бетона не превышают 0,3 мм	На отдельных участках с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры или хомутов. Шелушение ребер конструкций. На поверхности бетона мокрые или масляные пятна
3	Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм	Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры. Коррозия арматуры до 10% площади стержней. Бетон в растянутой зоне на глубине защитного слоя между стержнями арматуры легко крошится. Снижение прочности бетона до 20%
4	Ширина раскрытия нормальных трещин в балках не более 1 мм и протяженность трещин более 3/4 высоты балки. Сквозные нормальные трещины в колоннах не более 0,5 мм. Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета	Отслоение защитного слоя бетона и оголение арматуры. Коррозия арматуры до 15%. Снижение прочности бетона до 30%

Категория состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию
5	<p>Ширина раскрытия нормальных трещин в балках более 1 мм при протяженности трещин более 3/4 их высоты. Косые трещины, пересекающие опорную зону и зону анкеровки растянутой арматуры балок. Сквозные наклонные трещины в сжатых элементах. Хлопающие трещины в конструкциях, испытывающих знакопеременные воздействия. Выпучивание арматуры в сжатой зоне колонн и балок. Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне, разрыв хомутов в зоне наклонной трещины. Раздробление бетона в сжатой зоне. Прогобы изгибаемых элементов более 1/50 пролета при наличии трещин в растянутой зоне более 0,5 мм</p>	<p>Оголение всего диаметра арматуры. Коррозия арматуры более 15% сечения. Снижение прочности бетона более 30%. Расстройство стыков</p>

П5. Оценка состояния каменных конструкций по внешним признакам

Категория состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию
1	Трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы	
2	Волосные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной 15...18 см)	
3	<p>Волосные трещины, при пересечении не более четырех рядов кладки при числе трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка.</p> <p>Вертикальные и косые трещины (независимо от величины раскрытия), пересекающие не более двух рядов кладки</p>	Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 15% толщин
4	<p>Вертикальные и косые трещины в несущих стенах на высоту не более четырех рядов кладки. Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами, разрывы или выдергивания отдельных стальных связей и анкеров крепления стен к колоннам и перекрытиям. Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин и лещадок; вертикальные трещины по концам опор, пересекающие не более двух рядов кладки</p>	Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки за глубину до 25% толщины. Наклоны и выпучивание стен и фундаментов в пределах этажа не более чем на 1/6 их толщины. Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины заделки, но не более 2 см

Категория состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию
5	<p>Вертикальные и косые трещины в несущих стенах и столбах на высоту более четырех рядов кладки. Отрыв продольных стен от поперечных в местах их пересечения, разрывы или выдергивания стальных связей и анкеров, крепящих стены к колоннам и перекрытиям. Повреждение кладки под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин, раздробления камня или смещения рядов кладки по горизонтальным швам на глубину более 2 см; образование вертикальных или косых трещин, пересекающих более двух рядов кладки</p>	<p>Размораживание и выветривание кладки на глубину до 40% толщины. Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа на 1/3 их толщины и более смещение (сдвиг) стен, столбов и фундаментов по горизонтальным швам.</p> <p>Смещение плит перекрытий на опорах более 1/5 глубины заделки в стене</p>

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЗДАНИЯМ И ИХ ЭЛЕМЕНТАМ	9
3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	13
4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	23
5. ОЦЕНКА СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	33
6. ОЦЕНКА СРОКА СЛУЖБЫ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ	38
7. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ИХ ПОВРЕЖДЕНИЯМ	48
8. ОТБОР ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИЙ	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	67

Учебное электронное издание

ХУДЯКОВ Александр Владимирович

**ОЦЕНКА И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ,
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И СРОКА СЛУЖБЫ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебное пособие

Редактирование Е. С. Мордасовой

Графический и мультимедийный дизайнер Н. И. Кужилина

Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой

ISBN 978-5-8265-2836-5



Подписано к использованию 12.11.2024.

Тираж 50 шт. Заказ № 125

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