

**Министерство образования Республики Беларусь**  
**Учреждение образования**  
**«Брестский государственный технический университет»**  
**Кафедра строительных конструкций**

**Кондратчик А.А., Кондратчик Н.И.**

# **Реконструкция и реставрация зданий и сооружений**

Учебно-методический комплекс для студентов специальности 1-70 02 01  
«Промышленное и гражданское строительство»

## **Часть 1**

**Диагностика технического состояния  
зданий и сооружений**

УДК 69.059.7(075.8)

ББК 38.7-09я73

К 38

Печатается по решению кафедры «Строительные конструкции» Брестского государственного технического университета (протокол заседания кафедры № 4 от 11 декабря 2012 года).

*Рецензент* – заместитель директора Республиканского научно-исследовательского и опытно-конструкторского предприятия «Научно-технический центр», г. Брест, канд. техн. наук В.Н. Деркач.

**Кондратчик А.А. Кондратчик Н.И.**

**Реконструкция и реставрация зданий и сооружений** / раздел – Диагностика технического состояния зданий и сооружений / Конспект лекций для студентов специальности 1-70 02 01 – «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения. – Брест: Издательство БрГТУ, 2013. – 92 с.

В настоящем издании кратко изложены вопросы диагностики технического состояния зданий и сооружений с учётом положений действующих ТКП 45-1.04-208-2010, ТКП 45-1.04-37-2008, ТКП 45-1.04-119-2008 и ТКП 45-1.02-104-2008, проработка которых является первым и необходимым шагом начала работы по проектированию реконструкции объекта. Методика изложения материала позволяет осуществлять углубленное изучение вопросов самостоятельно с целью использования как на стадии итогового контроля знаний (зачёт, экзамен), так и при осуществлении практической деятельности.

Материалы предназначены для студентов обучения специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» специализация 1-70 02 01 04 «Реконструкция зданий и сооружений», специальности 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью» дневной и заочной форм, а также для студентов других специальностей и специализаций, в учебных планах которых предусмотрены курсы «Реконструкция и реставрация зданий и сооружений», «Реконструкция и ремонт зданий и сооружений».

УДК 69.059.7(075.8)

ББК 38.7-09я73

©Кондратчик А.А., 2013

©Кондратчик Н.И., 2013

© Брест, издательство БрГТУ, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Система принятых определений .....	5
<b>Тема №1. Вводная лекция</b> .....	6
1.1 Основная и дополнительная литература.....	6
1.2 Цель и задачи изучаемого курса .....	7
1.3 Содержание инженерной оценки объекта .....	8
1.4 Методика оценки технического состояния объекта .....	9
1.5 Техника безопасности при обследовании .....	10
<b>Тема №2. Нормативно-техническая база диагностики объектов</b> .....	12
2.1 Структура технического нормирования в РБ .....	12
2.2 Система использования ТНПА при проведении диагностики.....	12
2.3 Обоснование необходимости применения технических средств .....	13
2.4 Методика использования технических средств .....	14
2.5 Перспективные направления развития и совершенствования методов диагностики, их нормативной и технической базы .....	15
<b>Тема №3. Диагностика объектов из железобетона</b> .....	17
3.1 Причины появления дефектов и повреждений.....	17
3.2 Методика сбора информации о состоянии объекта .....	21
3.3 Характерные виды дефектов и повреждений .....	22
3.4 Определение физико-механических характеристик бетона .....	26
3.5 Определение положения и физико-механических характеристик арматуры.....	30
3.6 Проверочные расчёты .....	31
3.7 Оценка технического состояния.....	32
<b>Тема №4. Диагностика объектов из металла</b> .....	34
4.1 Причины появления дефектов и повреждений.....	34
4.2 Методика сбора информации о состоянии объекта .....	35
4.3 Характерные виды дефектов и повреждений .....	36
4.4 Определение физико-механических характеристик металла .....	43
4.5 Проверочные расчёты .....	45
4.6 Оценка технического состояния.....	48
<b>Тема №5. Диагностика объектов из древесины</b> .....	50
5.1 Причины появления дефектов и повреждений.....	50
5.2 Методика сбора информации о состоянии объекта .....	54
5.3 Характерные виды дефектов и повреждений .....	57
5.4 Определение физико-механических характеристик древесины .....	63
5.5 Проверочные расчёты .....	67
5.6 Оценка технического состояния.....	68
<b>Тема №6. Диагностика объектов из каменных материалов</b> .....	70
6.1 Причины появления дефектов и повреждений .....	70
6.2 Методика сбора информации о состоянии объекта .....	72
6.3 Характерные виды дефектов и повреждений.....	73
6.4 Определение физико-механических характеристик кладки .....	76
6.5 Проверочные расчёты .....	80
6.6 Оценка технического состояния .....	83
<b>Тема №7. Оценка износа объекта</b> .....	86
7.1 Физический и моральный износ. Необходимость определения .....	86
7.2 Метод ориентировочной оценки физического износа .....	87
7.3 Методика определения физического износа .....	87
<b>Методика организации проверки усвоения учебного материала</b> .....	89
1. Методические основы организации.....	89
2. Вопросы для итогового контроля знаний .....	90

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Стремительно развивающееся общество сталкивается с рядом задач, решение которых жизненно необходимо:

– острая нехватка земли под строительство и стремительное сокращение площади пахотной земли;

– огромный объем уже имеющихся зданий и сооружений жилого и общественного назначения с непрерывно изменяющимся уровнем физического износа и быстрым нарастанием так называемого морального износа;

– острая необходимость модернизации и перепрофилизации существующих производственных мощностей с целью создания современных высокотехнологических и экологически безопасных технологий производства.

Не случайно в развитии термина “реконструкция” в существующих условиях появился новый термин “ревитализация” (от латинского: *re* – снова и *vitalis* – жизнь, новая жизнь). Этот термин учитывает комплекс реконструктивно-восстановительных мероприятий, направленных на эффективное использование объектов (не только зданий, но и целых промышленных зон в крупных городах) путем преобразования как материальной, так и эстетической среды.

Проектная документация на ремонт, реконструкцию, модернизацию зданий и сооружений выполняется на основании обоснования инвестиций, материалов технического обследования, определения физического и морального износа зданий и сооружений [6].

Диагностика технического состояния выполняется с целью определения “здоровья” конструкции, здания, сооружения и т.д., их потенциальных возможностей, долговечности и позволяет экономически верно принять решение об их дальнейшей судьбе.

Отсутствие одного базового учебника по этой дисциплине оправдано как широким спектром решаемых вопросов, так и непрерывным изменением подходов и требований.

Настоящее издание содержит краткое изложение вопросов, рассматриваемых на лекциях и практических занятиях при изучении дисциплины, согласно рабочей программы. В каждой теме приведены материалы, рассматриваемые, как правило, на одной лекции, а при необходимости закрепляемые и на практических занятиях. Материал тем содержит контрольные вопросы для обучающего самоконтроля, позволяющие оценить полноту и глубину проработанной информации. Наличие конкретных ссылок на дополнительную литературу позволяет самостоятельно расширять знания по конкретным вопросам.

Самоподготовка студента (предварительное ознакомление с информацией темы) перед лекцией позволяет ему, уже понимая суть вопроса, активно общаться с лектором, уточняя детали, а лектору, опираясь на уже изложенную базовую информацию, уделить больше внимания проблемным и перспективным направлениям. В конспекте даны вопросы для итогового контроля усвоения материала, что должно стимулировать студента к планомерному накоплению и систематизации знаний, к самостоятельному режиму изучения.

## СИСТЕМА ПРИНЯТЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

1. **Диагностика технического состояния зданий** – научная дисциплина, изучающая причины возникновения отказов и повреждений объекта, разрабатывающая методы их обнаружения и оценки.

2. **Объект** – это то, что может быть индивидуально описано и рассмотрено (объектом м.б., например: материал, конструкция, здание, сооружение, организация, система и т.д.).

3. **Техническое состояние объекта** – комплекс показателей, определяющий как соответствие проектным решениям, так и долговечность объекта в будущем.

4. **Дефект объекта** – изъян, вызванный нарушением: правил и норм при проектировании, технологии изготовления и строительства.

5. **Повреждение (неисправность) объекта** – изъян, который образовался в результате воздействия или неправильной эксплуатации.

6. **Износ объекта** – величина, характеризующая потерю первоначальных эксплуатационных качеств.

7. **Эксплуатационные требования к объекту** – комплекс физико-технических и технологических (функциональных) требований, обеспечивающих полноценное пользование по назначению.

8. **Долговечность объекта** – срок службы, в течении которого экономически целесообразно его техническое обслуживание и ремонт.

9. **Нормативный срок службы объекта** – установленная продолжительность эксплуатации при соблюдении правил и сроков технологического обслуживания и ремонта.

10. **Экспертиза (обследование, диагностика)** – исследование специалистами (экспертами) вопросов, решение которых требует специальных познаний в области науки и техники.

11. **Протокол (заключение)** – документ, представляющий доказательство о проделанной работе или достигнутых результатах.

12. **Качество** – совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности.

13. **Контроль** – деятельность, включающая проведение измерений, испытаний, оценки, экспертизы одной или нескольких характеристик и сравнения полученных результатов с установленными ранее в НТД.

14. **Оценка качества** – систематическая единовременная проверка, насколько объект способен выполнять установленные требования.

## ТЕМА №1. ВВОДНАЯ ЛЕКЦИЯ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 1.1 Основная и дополнительная литература.
- 1.2 Цель и задачи изучаемого курса (с. 2-3 [5], с. 2 [4]).
- 1.3 Содержание инженерной оценки объекта (с. 2-3 [2]).
- 1.4 Методика оценки технического состояния (с. 18-20 [1]).
- 1.5 Техника безопасности при обследовании (с. 5-6 [1]).

### 1.1. Литература по курсу

#### *Основная литература*

1. Здания и сооружения. Техническое состояние и обслуживание строительных конструкций и инженерных систем и оценка их пригодности к эксплуатации. Основные требования: ТКП 45-1.04-208-2010. – Мн.: Минстройархитектуры, 2011. – 23 с.
2. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения: ТКП 45-1.04-37-2008. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009. – 52 с.
3. Здания и сооружения. Оценка степени физического износа: ТКП 45-1.04-119-2008. – М.: Минстройархитектуры, 2009. – 43 с.
4. Техническая эксплуатация жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок проведения: ТКП 45-1.04-14-2005. – Мн.: Минстройархит., 2006. – 40 с.
5. Ремонт, реконструкция и реставрация жилых и общественных зданий и сооружений. Основные требования по проектированию: ТКП 45-1.04-206-2010. – Мн.: Минстройархитектуры, 2011. – 19 с.
6. Проектная документация на ремонт, модернизацию и реконструкцию жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок разработки и согласования: ТКП 45-1.02-104-2008. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009. – 16 с.
7. Конструкции стальные. Обследование и диагностика технического состояния: ТКП 45-5.04-49-2007. – Мн.: Минстройархитектуры, 2008. – 125 с.
8. ТКП 45-5.05-146-2009. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования. – Мн.: 2009-63с.
9. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. – М.: Минстройархитектуры, 1988. – 36 с.
10. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 11-22-81. – М.: 1983. – 39 с.
11. Стальные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 11-23-81\*. – М.: 1991. – 96 с.
12. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02 с изменениями №1, 2, 3, 4, 5. – Мн.: Стройтехнорм, 2002. – 274 с.

#### *Дополнительная литература*

13. Рекомендации по оценке надёжности железобетонных конструкций, эксплуатируемых и реконструируемых зданий и сооружений: Р.03.042.07. – Мн.: Минстройархитектуры, 2007. – 33 с.
14. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1989. – 105 с.
15. Рекомендации по обеспечению надёжности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении. – М.: Стройиздат, 1990. – 177 с.
16. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. – М.: Стройиздат, 1988. – 57 с.
17. Руководство по обеспечению долговечности деревянных клееных конструкций при воздействии на них микроклимата зданий различного назначения и атмосферных факторов. – М.: Стройиздат, 1981. – 97 с.

18. Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 48 с.

19. Реконструкция зданий и сооружений / Под ред. А.Л. Шагина – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.

20. Землянский, А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений – М.: Из-во АСВ, 2001. – 240 с.

21. Гучкин, И.Г. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: учебное пособие. – М.: Из-во АСВ, 2000. – 176 с.

## 1.2. Цель и задачи изучаемого курса

Обеспечение долговечности, срока службы объекта, в течение которого экономически оправдана его эксплуатация (техническое обслуживание, ремонт) и сохраняются эксплуатационные качества, является целью любого собственника (государство, физ. лицо и т.д.). Это достигается реализацией комплекса мер по поддержанию его в исправном состоянии (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Система технической эксплуатации объекта

Мероприятия, выполняемые службой эксплуатации	
Уход за СК и инженерным оборудованием	↔ Контроль и поддержание состояния СК
Соблюдение параметров среды эксплуатации: влажности (RH) и температуры	↔ Проведение осмотров: общий, сезонный, частичный, внеочередной, контрольный
Обеспечение проектных условий по нагрузке и агрессивности среды	↔ Система планово-предупредительных ремонтов: текущие, профилактические, непредвиденные, выборочные, капитальные
Содержание оборудования в исправном состоянии	
Подготовка СК и инженерного оборудования к сезонной работе	

Диагностика технического состояния объекта (строительная диагностика) является составной частью комплекса мер по технической эксплуатации и предназначена как для обнаружения и оценки, так и для определения причин появления дефектов, повреждений и отказов конструктивной системы. Появление отказов системы связано с действием на последнюю внешних и внутренних факторов, имеющих как механический, так и физико-химический характер. К внешним воздействиям отнесём: влагу, вибрацию, температуру, осадки (фактически химически активные растворы), ветровые и звуковые колебания, биологические вредители и т. д. К воздействиям, условно называемым внутренними отнесем: колебания температуры и влажности, вибрация, динамика, абразивные процессы, химически активная среда, нагрузки и т.д. При проектировании они, как правило, учитываются, но важно добиться не превышения их фактических значений над нормируемыми в процессе эксплуатации. Цель диагностики как научной дисциплины заключается не только в реализации на практике, но и в разработке способов и средств определения технического состояния объекта (см. табл. 1.2).

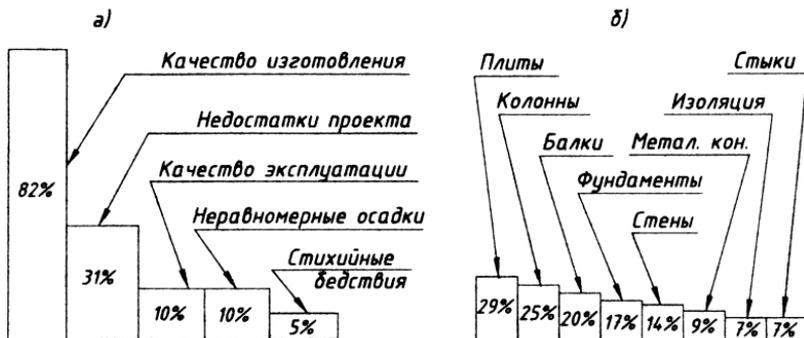
Необходимость диагностики (обследования) объектов можно проиллюстрировать на примере работы строительного комплекса (см. рис. 1.1). Как правило, нормативные сроки эксплуатации зданий и сооружений на практике выдерживаются.

Надёжность проектных решений не вызывает сомнений, т.к. нормы проектирования по уровню безопасности близки к европейским аналогам. Ответ кроется в обеспечении качества всех процедур при создании и эксплуатации объекта. Статистика утверждает, что около 50% отказов происходит из-за низ-

кого качества СМР, около 20% – из-за низкого качества материалов и изделий и более 20% – в результате нарушения правил эксплуатации.

Таблица 1.2 – Структура построения диагностики

Разделы диагностики					
I раздел		II раздел		III раздел	
Методика визуального определения износа по внешним признакам		Методика инструментальной оценки состояния СК		Методика инженерного анализа данных. Составление заключения	
Методика выявления, изучения, оценки, прогноза, износа	Методика анализа причин появления и последствий	Методика определения фактических параметров, характеристик	Методы и средства оценки параметров материалов, конструкций	Методика сбора, хранения и обработки информации	Методика составления заключения и рекомендаций по ремонту и эксплуатации



а) – факторы, способствующие появлению, б) – привязка дефектов к конкретным СК  
Рисунок 1.1 – Причины появления отказов объектов

Примерно к таким же выводам пришли участники международного симпозиума "Поведение сооружений из бетона и железобетона" (г. Льеж, Франция), детализируя более подробно не только факторы (см. рис. 1.1 а), но и вид конструкций (см. рис. 1.1 б), отмечая, что причиной отказа объекта крайне редко является один фактор.

Обследование объектов необходимо выполнять, если: они эксплуатируются длительный срок; сохраняются после реконструкции, не отвечая требованиям эксплуатационной надёжности, не соответствуют условиям технологического процесса, имеют повреждения после аварий или стихийных воздействий, имеют значительный физический износ, требуется паспортизация; необходима утилизация (демонтаж).

### 1.3. Содержание инженерной оценки объекта

С этой целью проводится комплекс работ по сбору, обработке, систематизации и анализу данных о технологическом состоянии объекта (здесь и далее обобщённый термин "объект" будет обозначать часть конструкции, конструкцию, здание, сооружение), оценке состояния и износа. Необходимость выполнения работ может быть связана с изменением нагрузок или условий эксплуатации, проектированием ремонта или реконструкции, возобновлением работ на законсервированных объектах, определением пригодности к дальнейшей эксплуатации или паспортизации.

В процессе работ фиксируют фактическое состояние объекта и воздействия, наличие и причину появления дефектов и повреждений (дефект – каж-

дое несоответствие объекта требованиям ПСД. Повреждение – дефект появившейся в результате любых воздействий [1]), связанных с проектным решением, изготовлением, эксплуатацией (агрессия среды, нарушение условий), износом или стихийным бедствием. Условно работы делят на три этапа.

Предварительное обследование связано с необходимостью знакомства с объектом (объём, конструктивное решение и общее состояние, условия эксплуатации, наличие доступа), установление наличия документации (проектной, службы эксплуатации) для грамотного составления технического задания на ведение работ (содержание, объём, сроки, стоимость).

Общее обследование предполагает выполнение сплошного визуального контроля, при осуществлении которого фиксируются и анализируются: расположение объекта (особенности застройки и территории – вертикальная планировка, отвод поверхностных вод, опасные геологические явления), осмотр и фотофиксация объекта (измерение объекта и дефектов, составление схем расположения СК), определение участков для последующего углублённого контроля при детальном обследовании (вскрытие, отбор проб, неразрушающий контроль и т.д.), оценка соответствия фактической планировки и конструктивного решения проектной документации. Отсутствие документации или наличие расхождений требует её восстановления, а именно: поэтажные планы этажей или участков, поперечные и продольные разрезы, схемы расположения элементов с проработкой размеров элементов и узловых сопряжений. Итогом общего обследования является оценка (предварительная или окончательная) технического состояния объекта с указанием необходимости проведения детального (инструментального) обследования.

Детальное обследование выполняется, если: это указано в выводах общего обследования (при наличии элементов или участков III категории технического состояния); при отсутствии ПСД и информации о допустимых нагрузках (при паспортизации объекта); при изменении условий эксплуатации (реконструкция, модернизация с увеличением нагрузок и изменением среды эксплуатации). С этой целью производят подробные измерения конструкций их узлов и дефектов, определяют фактические характеристики материалов, выполняют проверочные расчёты с использованием фактических параметров материалов, воздействий, расчётных схем и наличия отклонений (при необходимости натурные испытания), разрабатывают рекомендации по дальнейшей эксплуатации объекта (в том числе ремонт, усиление, замена и т. д.).

#### **1.4. Методика оценки технического состояния**

Техническое состояние объекта согласно [1] классифицируется пятью категориями:

I – исправное (хорошее) – малозначительные дефекты устраняются в процессе технического обслуживания;

II – неисправное (удовлетворительное) – дефекты устраняются при техническом обслуживании и текущем ремонте;

III – ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) – опасности обрушения нет, возможны ограничения некоторых параметров эксплуатации, требуется ремонт;

IV – неработоспособное (неудовлетворительное) – необходимо ограничение нагрузок, требуется капитальный ремонт, усиление или замена (определяется расчётом);

V – предельные (предаварийное) – вывод людей из опасной зоны, срочная нагрузка и (или) устройство временных креплений с последующей заменой.

Определение категорий технического состояния выполняется согласно табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Определение категории технического состояния объекта

Степень распространения дефектов	Категории технического состояния при различных классах дефектов		
	Критические (1 класс)	Значительные (2 класс)	Малозначительные (3 класс)
Массовые	V	IV, V	III
	IV, V	III	II, III
Многочисленные	V	IV	II, III
	IV	II, III	II
Единичные	IV, V	III	II
	III, IV	II	I

В числителе даны категории для элементов первой степени ответственности, в знаменателе – для элементов второй степени ответственности.

Пользование табл. 1.3 предполагает определение следующих параметров.

1. Степень ответственности элемента или части объекта. К элементам первой степени ответственности относят такие, локальный отказ которых ведёт к полному или частичному отказу системы, снижению эксплуатационного качества или ТЭП. Остальные элементы относят ко второй степени ответственности.

2. Степень распространения (количество) дефектов оценивается в процентах от линейного размера или количества одного вида объектов: единичные – до 10%, многочисленные – 10%...40%, массовые – более 40%.

3. Классы дефектов (критические – 1, значительные – 2, малозначительные – 3) определяют условно разделив их на группы: (а) – имеющие нормируемые численные показатели качества; (б) – без нормируемых показателей и связанных с нарушением технологии производства или повреждением.

Отклонение ( $\Delta$ ) фактического значения контролируемого параметра (X) от нормируемого значения ( $X_{\min}, (max)$ ) согласно ТНПА определяется:

$$\Delta = \frac{X_i - X_{\min(max)}}{X_{\min(max)}} \cdot 100\%. \quad (1.1.)$$

Отнесение дефекта к конкретному классу зависит от величины отклонения:  $\Delta > 40\%$  (критические);  $\Delta \leq 40\%$  (значительные);  $\Delta \leq 10\%$  (малозначительные).

Оценку технического состояния объекта, а также его эксплуатационных качеств производят по отдельным группам показателей эксплуатационных качеств. Осреднённая оценка категории технического состояния ( $K_{св}$ ) генеральной совокупности объектов каждого вида по данным общего обследования определяется:

$$K_{св} = \frac{5K_V + 4K_{IV} + 3K_{III} + 2K_{II} + K_I}{K_V + K_{IV} + K_{III} + K_{II} + K_I}, \quad (1.2)$$

где  $K_i$  – количество объектов имеющих i-ю категорию технического состояния.

Оценка технического состояния объекта позволяет разработать рекомендации по дальнейшей их эксплуатации. При этом запрещается эксплуатация объекта признанного аварийно-опасным (наличие элементов V категории ТС или не менее 20% элементов IV категории ТС, с нарушениями противопожарных требований, с оборудованием, предоставляющим опасность для людей и имущества).

## 1.5. Техника безопасности при обследовании

Лица, проводящие обследование, должны соблюдать правила техники безопасности ведения работ. Для этого перед началом работ они должны пройти инструктаж по технике безопасности, знать наиболее опасные места, угрожающие обрушением, а также насыщенные действующим оборудованием, транспортными средствами, токопроводящими линиями, оборудованием,

находящимися под напряжением, зоны интенсивного выделения тепла, пара, газов.

Инструктаж выполняется лицами, ответственными за технику безопасности предприятия или цеха, и оформляется документально. Ответственность за безопасное ведение работ несёт руководитель организации, выполняющей обследование.

Перед началом работ по обследованию конструкций намечается план безопасного ведения работ, как временным прекращением эксплуатации, так и без прекращения эксплуатации здания или отдельных его участков. План должен предусматривать мероприятия, исключающие возможность внезапного обрушения конструкций, поражения людей газом, током, паром, огнем, наезда транспорта и т.п. Лица, выполняющие обследование, должны обеспечиваться спецодеждой и защитными средствами (касками, очками, накидками, резиновыми сапогами, перчатками, противогазами, респираторами и т.п.) в соответствии с действующими нормами, а при работе на высоте более 1,6 м – предохранительными поясами. Лица, не имеющие необходимой для данных условий спецодежды или защитных средств, к работе не допускаются.

Измерения деформаций конструкций (прогибов, наклонов, выпучивания) в опасных и труднодоступных местах, а также при длительном наблюдении рекомендуется выполнять с помощью дистанционных приборов, позволяющих вести измерения (наблюдения) на расстоянии, без непосредственного контакта с обследуемой конструкцией. Места измерения должны иметь хорошее освещение и, в случае необходимости, ограждение, исключающее возможность падения людей с высоты или контакта их с действующим оборудованием и коммуникациями.

Применяемые для работы лестницы, временные помосты и т.п. должны надежно закрепляться к конструкциям зданий. Одновременный подъем и спуск по лестнице двух и более человек не допускается. При обследовании конструкций с мостового крана не разрешается находиться на мосту крана при его движении.

Работы в зоне источников тока или оборудования, находящегося под напряжением, разрешается проводить только после обесточивания. При обследовании конструкций в сильно запыленных или задымлённых цехах и помещениях должны использоваться защитные очки, накидки и респираторы, а при наличии агрессивных или токсичных газов используются противогазы.

Измерительные приборы, включаемые в сеть, должны быть заземлены. Места подключения приборов в сеть согласовываются с руководством обследуемого объекта.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Сформулируйте задачи диагностики на примере развития экономики РБ.
2. Разработайте структуру работ по обеспечению долговечности объекта.
3. В чём отличие реконструкции и реставрации объекта?
4. Какие задачи решаются при выполнении предварительного обследования?
5. Определите состав работ и назовите отличия при выполнении общего и детального обследования.
6. Как выполняются работы по диагностике на эксплуатируемом объекте?
7. Требуется ли специальная подготовка для работников, выполняющих обследование и почему?
8. Назовите факторы, способствующие физическому износу объекта.
9. Назовите факторы, определяющие наличие морального износа.
10. С какой целью составляются схемы расположения дефектов?

## **ТЕМА №2. НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ**

### **Перечень рассматриваемых вопросов:**

- 2.1. Структура технического нормирования в РБ.
- 2.2. Система использования ТНПА при проведении диагностики (с. 1-2 [1]).
- 2.3. Обоснование необходимости применения технических средств (с. 2-3 [2]).
- 2.4. Методика использования технических средств (с. 3-12 [1]).
- 2.5. Перспективные направления развития и совершенствования методов диагностики и их нормативной и технической базы (с. 1-3 [4]).

### **2.1. Структура технического нормирования в РБ**

Нормативно-правовая база является основой работы и развития любой системы (политической, экономической, производства и т.д.). Составляющие этой базы непрерывно совершенствуются. Особенностью структуры НТД в республике является действие на её территории как ряда документов, оставшихся после распада СССР, так и новых. В строительной отрасли переработка, замена, разработка новых НТД ведётся в научно-производственном Республиканском унитарном предприятии "Стройтехнорм" техническими комитетами по стандартизации (ТКС), работающими по определённым направлениям. Например: ТКС 08 "Бетонные и железобетонные конструкции, бетоны и растворы" или ТКС 12 "Эксплуатация, обследование, реконструкция зданий и сооружений". Общее руководство в РБ процессом функционирования структуры НТД в строительной отрасли осуществляет Госстрой.

Объектами технического нормирования являются: градостроительство, инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация и реконструкция объектов, инженерное оборудование геометрической точности, модульная координация размеров в строительстве.

Объектами стандартизации являются: стройматериалы, изделия, конструкции, технологические процессы, инженерное оборудование, методы испытаний, проектная документация, показатели качества, организационные методы.

На территории РБ действуют следующие нормативно-технические документы:

- разработанные в период существования СССР и непереработанные на данный момент: СНИП, СН, ВСН, ГОСТ, ОСТ, и ТУ;

- разработанные в составе национального комплекса ТНПА: СНБ, СТБ и ТУ;

- межгосударственные НТД: МСН и ГОСТ;

- разрабатываемые в настоящий момент НТД: ТКП и СТБ;

- принятая к применению система европейских документов: EN 1990 Eurocode (1 часть), EN 1991 Eurocode 1 (10 частей), EN 1992 Eurocode 2 (4 части), EN 1993 Eurocode 3 (20 частей), EN 1994 Eurocode 4 (3 части), EN 1995 Eurocode 5 (3 части), EN 1996 Eurocode 6 (4 части), EN 1997 Eurocode 7 (2 части), EN 1998 Eurocode 8 (6 частей), EN 1999 Eurocode 9 (5 частей).

В настоящий момент ведётся интенсивная работа по разработке национального комплекса НТД, гармонизированного с требованиями Eurocode, документы которого (ТКП и СТБ) будут действовать на территории РБ параллельно с документами Eurocode.

### **2.2. Система использования ТНПА при проведении диагностики**

Диагностика технического состояния объекта включает работы по:

- определению фактических физико-механических характеристик материалов конструкций, параметров среды и воздействий;

- оценке уровня повреждения объекта (конструкции, сооружения);
- расчёту несущей способности и пригодности к нормальной эксплуатации.

При выполнении работ необходимо:

• выполнять работы в объёме в указанном в разделе 8 ТКП 45-1.04-208-2010 [1], персоналом, имеющим специальную соответствующую подготовку с использованием средств измерения и испытательного оборудования, поверенного и допущенного к применению на территории РБ;

- применять в работе методики, указанные в действующих НТД;
- соблюдать требования безопасности труда в соответствии с действующими техническими и нормативными правовыми актами.

В общем случае в работе используются стандарты:

- на конкретные конструкции, изделия, материалы;
- на определение фактических характеристик материалов;
- по оценке уровня повреждений;
- по расчёту прочности и пригодности к нормальной эксплуатации.



**Рисунок 2.1 – Основные нормативные документы РБ в области эксплуатации, ремонта и реконструкции зданий и сооружений**

Порядок проведения работ определяются ТКП 45-1.04-37-2008 [2], оценка технического состояния согласно ТКП 45-1.04-208-2010 [1], а определение уровня физического износа по ТКП 45-1.04-119-2008 [3]. На рис. 2.1 дана общая структурная схема основных нормативных документов в обозначенной области.

### 2.3. Обоснование необходимости применения технических средств

Определение действительного состояния и прогнозирования дальнейшей эксплуатации объекта связано с оценкой надёжности. Это понятие является комплексным, т.к. объединяет такие свойства, как безотказность, долговечность и ремонтноспособность. В теории надёжности оперируют следующими понятиями:

- безотказность – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не наступит и средняя наработка до отказа – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа;

- долговечность – гамма-процентный ресурс, т.е. наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью у процентов;

- ремонтпригодность – вероятность восстановления в заданное время, т.е. вероятность того, что время восстановления работоспособности объекта не превысит заданного и среднее время восстановления.

Основным понятием в теории надёжности является отказ (нарушении полной или частичной работоспособности объекта), наступление которого связывается с техническим состоянием объекта, которое является интегральной характеристикой качества, базирующегося на контроле показателей. Контролю подлежат геометрические и физико-технические характеристики объекта: размеры (сечения конструкции, длины опирания, положения арматуры и т.д.); перемещения различных точек (осадка, углы поворота, прогибы и т.д.); характеристики и состояния материалов (прочность, модуль упругости, влажность, остаточное сечение, напряжённое состояние и т.д.). Следует иметь в виду, что при определении числовых значений физико-механических характеристик материалов необходимо учитывать их неоднородность (статистическую изменчивость), формирующуюся как при изготовлении, так и в процессе эксплуатации. Контроль (определение) количественных показателей характеристик как объекта, так и условий (среды, воздействий) эксплуатации должен производиться с должной оперативностью, точностью и производительностью, что возможно только при использовании соответствующей технической базы.

## 2.4. Методика использования технических средств

Контроль параметров может производиться разрушающими и неразрушающими методами.

**Разрушающие** методы эффективны при проверке (испытании до разрушения) стандартных образцов (выпиленных или выбуренных из объекта) материала объекта. Достоинством данного метода является получение показателей прямым способом. Недостатком являются сложности экономического характера, а также невозможность отбора проб (образцов) из ряда реальных конструкций.

**Неразрушающие** методы основаны на определении характеристик объекта не прямым, а косвенным методом посредством установления наличия и использования связи искомой характеристики с некой случайной величиной (например – плотность и скорость передней волны ультразвука), которая регистрируется прибором. Отметим, что уровень развития науки в государстве и развитие технической базы средств неразрушающего контроля неразрывно связаны, а эффективное использование возможно при выполнении двух условий – прибор должен быть поверен, а пользователь должен иметь соответствующую подготовку.

Неразрушающие методы классифицируются по видам испытаний:

- механические (упругий отскок, ударный импульс, пластической деформации, отрыв, скалывание ребра, отрыв со скалыванием) – базируются на анализе местных разрушений, параметров резонансного поведения объекта при механическом воздействии, перемещений при действии нагрузочного элемента прибора на объект;

- метод проникающих сред – предполагает фиксирование индикаторных жидкостей либо газов проникающих в объект;

- акустические методы – используют определение характеристик упругих колебаний посредством ультразвуковой нагрузки и регистрацию акустоэмиссии;

- магнитные методы, в том числе индукционные и магнитопорошковые;
- радиационный метод – основан на регистрации взаимодействия нейтронов, радиоизотопов и тормозного излучения с объектом;
- радиоволновые методы – реализуют эффект распространения высокочастотных колебаний и электросопротивления объекта;
- тепловой метод – регистрация параметров тепловых полей и теплового контраста по площади объекта;
- оптические методы – анализ поведения модели и объекта при воздействии светового потока.

Применение перечисленных неразрушающих методов производится после их привязки к конкретному объекту, как одним методом, так и несколькими (комплексный подход).

Основным достоинством методов неразрушающего контроля является оперативность и сохранение эксплуатационных свойств объекта. К недостаткам метода отнесём точность, которая зависит как от качества измерения, так и от корреляции измеряемого параметра (случайной величины) с искомой характеристикой объекта.

Основное внимание следует обратить на профессиональную подготовку пользователей приборов неразрушающего контроля, так как от этого зависит достоверность получаемой информации. Они должны иметь не только соответствующую подготовку, но и подтверждать ее с определенной в республике периодичностью на курсах повышения квалификации.

## **2.5. Перспективные направления развития и совершенствования методов диагностики, их нормативной и технической базы**

Следует выделить два основных направления:

- совершенствование методической, нормативной и технической базы для диагностики конкретных объектов в зависимости от их сложности и ответственности;

- построение математических моделей как оценки и прогнозирования поведения объекта в определённых условиях эксплуатации, так и выявления остаточного ресурса.

Следует иметь в виду, что разделение процесса совершенствования на направления достаточно условное, т.к. они дополняют друг друга.

Развитие методической базы связано со структурной перестройкой подходов, а именно:

- внедрение диагностики в практику эксплуатации объекта;
- создание объединённых диспетчерских служб по отраслям, регионам, объединениям;

- создание мобильных передвижных лабораторий по диагностике объектов;
- создание организацией лабораторий, центров, специализирующихся на оказании (независимых от ведомственной подчинённости) услуг по:

- контролю качества проектирования и изготовления;
- единовременной диагностике объекта по заказу;
- постоянной (с определённой периодичностью) диагностики объекта в течение эксплуатации;

- разработка компьютерных систем, базирующихся на периодическом обновлении данных о техническом состоянии объекта и выполняющих анализ по их оценке с использованием накапливаемой базы данных.

Развитие нормативной базы диагностики предполагает:

- непрерывное совершенствование национального комплекса НТД по: нормированию показателей материалов и конструкций методом контроля характеристик материалов и конструкций; системе организации диагностики объектов и подготовки кадров; оценке технического состояния объекта;

- гармонизацию отечественной системы НТД с системами стран ближнего и дальнего зарубежья;

- создание системы анализа практики использования во времени материалов, конструкций и инженерных систем с учётом долговечности и надёжности.

Совершенствование технической базы диагностики должно быть основано на:

- разработке новых современных методов контроля качества, базирующихся на современных достижениях науки;

- создание приборов, отвечающих современным требованиям по точности, быстродействию, комплексу измеряемых параметров и надёжности;

- разработка диагностических комплексов, включающих единый центр обработки, серию приборов (методик), позволяющих оценить состояние объекта в целом.

Второе направление развития диагностики (построение математических моделей) является общетеоретическим, т.к. связано с разработкой общих методов и средств оценки состояния объекта. Оно подразумевает:

- построение общих методов и средств изучения объекта (материала, сооружения, системы) с указанием факторов, которые должны учитываться при установлении характера и глубины повреждения;

- разработку методик оценки старения материалов с течением времени;

- создание методик анализа надёжности сложных технических систем с вариантным моделированием отказа их составляющих.

Оба направления развития диагностики предполагают создание (совершенствование) системы оперативного, непрерывного контроля за техническим состоянием объекта, что позволит существенно снизить экономические затраты на его эксплуатацию.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите действующие на территории РБ типы НТД.
2. Обоснуйте перечень используемых при диагностике видов НТД.
3. Определите и обоснуйте перечень приборов, используемых при диагностике железобетонных конструкций.
4. Определите достоинства и недостатки разрушающих методов испытания.
5. Определите достоинства и недостатки неразрушающих методов испытания.
6. Перечислите типы приборов и объясните принцип действия приборов механического действия неразрушающего метода.
7. Перечислите типы приборов и объясните принцип действия приборов, использующих ультразвук.
8. Определите и обоснуйте перспективные направления развития методов диагностики.
9. Определите и обоснуйте направления развития нормативной базы диагностики.
10. Обоснуйте и объясните направления совершенствования технической базы диагностики.
11. Обоснуйте необходимость специальной подготовки пользователей приборами неразрушающего контроля.
12. Сформулируйте основные требования по технике безопасности при работе с приборами неразрушающего контроля.

### Перечень рассматриваемых вопросов:

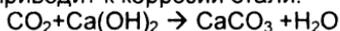
- 3.1. Причины появления дефектов и повреждений (с. 210-226 [23]).
- 3.2. Методика сбора информации о состоянии объекта (с. 16-32 [2]).
- 3.3. Характерные виды дефектов и повреждений (с. 47-50 [2]).
- 3.4. Определение физико-механических характеристик бетона [13].
- 3.5. Определение положения и физико-механических характеристик арматуры [7].
- 3.6. Проверочные расчёты (с. 130-132 [12]).
- 3.7. Оценка технического состояния (с. 19-21 [2]).

### 3.1. Причины появления дефектов и повреждений

Выделим следующие факторы: атмосферно-химический и человеческий.

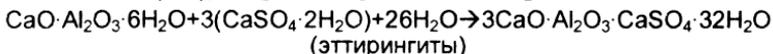
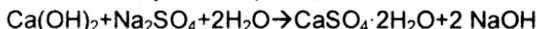
**А. Атмосферно-химический** – воздействие агрессивных компонентов как атмосферы (карбонаты, сульфаты, хлориды), перепадов температуры, так и химически активной среды эксплуатации внутри объекта.

**Воздействия углекислого газа.** Наиболее частой причиной разрушения бетона является карбонизация. Будучи пористым, бетон хорошо впитывает углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), кислород и влагу, присутствующие в атмосфере. Способность бетона впитывать не влияет на прочность самой бетонной структуры, но оказывает пагубное влияние на арматуру, которая при повреждении бетона попадает в кислотную среду. Известь, образующаяся при гидратации цемента, создаёт в бетоне щелочную среду с высоким показателем  $\text{Ph}$  (12-14) Арматура выпускается химически пассивной и защищенной от щелочи неактивной плёнкой (с пассивационным слоем) оксидированного железа, что в некоторой степени защищает арматуру от окисления. В пассивационный слой, покрывающий стальную арматуру в бетоне, проникает углекислый газ. Известь нейтрализуется путём образования карбоната кальция, который снижает показатель  $\text{Ph}$ , что приводит к коррозии стали.



Ржавчина (продукты коррозии), формирующаяся при окислении стальной арматуры, увеличивает её объём, повышает «внутреннее» давление и приводит к разрушению бетона защитного слоя и оголению арматуры. Оголенные стальные стержни, имея прямой контакт со средой, разрушаются ещё стремительнее.

**Воздействие сульфатов.** Воздействие солей серной кислоты может привести к разрушению бетонных конструкций. Сульфаты вступают в реакцию с другими химическими компонентами, образующими мел, этtringиты и таумаситы, в соответствии со следующими реакциями:



Образование этих продуктов внутри структуры бетона приводит к увеличению объёма, что влечёт за собой образование трещин в бетоне.

**Воздействие хлоридов.** Причиной разрушения бетона являются ионы хлоридов, которые соединяются с солями морской воды и солями, используемыми для борьбы с наледью на дорогах. Хлориды могут находиться и в самом бетоне, попадая туда с составляющими материалами, которые использовались в создании конструкции. Хлориды способствуют коррозии арматуры, разрушая пассивационный слой оксидированного железа, что приводит к дальнейшему окислению.

Поваренная соль приводит к вступлению щелочей в реакцию с аморфным кварцем с последующим образованием щелочного силиката, который увеличивается в объеме под воздействием атмосферной влаги, являясь причиной образования трещин, в которых будут заметны типичные белые подтеки. Соль разрушает как стальную арматуру, так и сам бетон, который содержит такие реактивные компоненты, как аморфный кварц. Разрушения, вызванные хлоридом кальция, способствуют ускорению коррозии арматуры. Соли, вступая в реакцию с гидратом кальция, находящимся в бетоне, образуют оксидированный гидрат кальция с последующим увеличением объема.



**Перепад температуры.** Вода является катализатором для всех агрессивных компонентов и описанных химических реакций. Поэтому очень важно понимать всю важность гидроизоляции бетона. Влага может стать причиной серьезных повреждений, проникая сквозь поры бетона. Изменения состояния молекул воды, происходящие во время оттепелей и заморозков с образованием льда, способны увеличить объем приблизительно на 9%. Возникающее давление приводит к образованию трещин и разломов в бетоне.

Эффективным способом, помогающим контролировать процесс расширения (образование льда или оксидированного кальция), могут быть микроскопические пузырьки воздуха, которые уменьшают воздействие кристаллов льда на структуру бетона изнутри.

Разрушение материалов происходит в результате эрозии (механическое разрушение поверхности) и коррозии (разрушения вследствие химических или электрохимических процессов). Химическая коррозия протекает не в электролитах (жидкости, не проводящие электрический ток) и в сухих газах при высокой температуре. Электро-химическая коррозия происходит в электролитах и во влажной газовой среде и характеризуется наличием двух параллельно идущих процессов: окислительного (растворение металла) и восстановительного (выделение металла из раствора). Коррозию различают: по внешнему виду (сплошная, пятнами, язвами, точечная, поверхностная и т.д.); по характеру среды (газовая, атмосферная, жидкая, почвенная); по характеру разрушения (равномерная и неравномерная).

Разрушение (коррозия) бетона имеет следующие особенности. Бетоны не обладают достаточной химической стойкостью против действия кислых сред. Свойства бетона и его стойкость в первую очередь зависят от химического состава цемента, из которого он изготовлен. Наибольшее применение в конструкциях находят бетоны на портландцементе. Причиной пониженной химической стойкости бетона к действию минеральных и органических кислот является наличие свободной гидроксида кальция (до 20%), трехкальциевого алюмината ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) и других гидратированных соединений кальция. При непосредственном воздействии кислых сред на бетон происходит нейтрализация щелочей с образованием хорошо растворимых в воде солей, а затем взаимодействие кислых растворов со свободным гидроксидом кальция с образованием в бетоне солей, обладающих различной растворимостью в воде. Коррозия бетона происходит тем интенсивнее, чем выше концентрация водных растворов кислот. При повышении температуры агрессивной среды коррозия бетонов ускоряется. Несколько более высокой кислотостойкостью обладает бетон, изготовленный на глиноземистом цементе, из-за пониженного содержания оксида кальция. Кислотостойкость бетонов на цементах с повышенным содержанием оксида кальция в некоторой степени зависит от плот-

ности бетона. При большой плотности бетона кислоты оказывают на него несколько меньшее воздействие из-за трудности проникновения агрессивной среды внутрь материала. Щелочестойкость бетонов определяется главным образом химическим составом вяжущих, на которых они изготовлены, а также щелочестойкостью мелкого и крупного заполнителя. Увеличение срока службы строительных конструкций достигается путем правильного выбора материала с учетом его стойкости к агрессивным средам, действующим в производственных условиях.

**Коррозия арматуры в бетоне.** Основой защитного действия цементных бетонов на арматурную сталь является щелочной характер влаги в капиллярно-пористом теле бетона, способствующий сохранению пассивного состояния поверхности стали. Однако бетон находится в постоянном взаимодействии со средой, которая может либо способствовать его упрочнению и уплотнению, либо разрушать его структуру и понижать прочность, уменьшать его способность защищать арматуру.

Как показывают опыт и исследования, последнее может быть вызвано несколькими процессами, результатом которых является потеря бетоном способности поддерживать пассивное состояние стали из-за понижения степени щелочности межфазной жидкости или проникания в нее ионов – стимуляторов коррозии. Первое обычно является результатом действия на бетон кислотных газов и жидкостей, второе – сред, содержащих хлориды. Наиболее распространенным из кислотных газов является углекислый газ, среднее содержание которого в атмосфере (например сельской местности) составляет 0,03%. В атмосфере промышленных районов и в воздухе цехов его концентрация может быть более высокой.

Углекислота активно поглощается пористым телом бетона, так как между фронтом карбонизации и поверхностью бетона создается постоянная разность парциальных давлений углекислого газа, поддерживающая его диффузию. Скорость карбонизации зависит от плотности бетона и его влажности, а также от концентрации углекислоты. При относительной влажности воздуха выше 45% содержание воды в бетоне достаточно для карбонизации, а при влажности воздуха, близкой к полному насыщению, карбонизация плотных бетонов практически прекращается. Наиболее интенсивно процесс карбонизации идет в случае, если пленка влаги на стенках пор в бетоне достаточна, лишь для растворения в ней гидроокиси кальция и углекислоты и не закрывает поры целиком, оставляя свободным доступ последней в виде газа. Капиллярная конденсация в порах геля, способствует дополнительному уплотнению бетонов плотной структуры и препятствует их карбонизации даже при оптимальной для этого процесса относительной влажности (45-70%). Для газонепроницаемости бетонов особенно важны условия твердения. В воде получают некарбонизирующиеся структуры, а при воздушном твердении и пропаривании – легкокарбонизирующиеся.

Влажность воздуха, играющая решающую роль в сохранении защитных свойств бетона, оказывает большое влияние и на развитие процесса коррозии арматуры в бетоне, если ее поверхность по той или иной причине перестает быть пассивной. Опыт эксплуатации ЖБК показывает, что при сухой воздушной среде в карбонизированном бетоне, как правило, коррозия арматуры не развивается. Не бывает обычно коррозии арматуры и в постоянно и полностью насыщенном водой бетоне, даже если это морская вода, содержащая хлориды.

Практически в сформированной структуре бетона в широких пределах может меняться содержание капиллярной воды, которая в зависимости от

парциального давления водяных паров в окружающей среде заполняет поры и капилляры разной величины – от мельчайших пор геля при малой относительной влажности воздуха до капилляров с радиусом  $1 \times 10^{-5}$  см при высокой влажности. Несвязанная вода, механически заполняющая крупные поры, трещины и пустоты, также может появиться в бетоне, если он будет находиться под гидравлическим давлением либо если в теле бетона образуется точка росы и происходит конденсация паров воды. Для капилляров с радиусом более  $1 \times 10^{-5}$  см, которые обычно называют макрокапиллярами, давление насыщенного пара над мениском воды практически равно давлению пара над плоской поверхностью. Такие капилляры заполняются водой только при непосредственном соприкосновении с ней и отдадут ее в атмосферу, насыщенную водяными парами. При полной гидратации вода, не испаряющаяся до температуры  $105^{\circ}\text{C}$ , составляет около 25% веса цемента. Это вода, находящаяся в химической и физико-химической связи с цементным камнем, электролитически непроводящая. Поэтому она не влияет на процессы коррозии стали в бетоне. Испаряющаяся вода заполняет капиллярные поры и поры геля. В порах геля, по Пауэрсу, может содержаться до 15% воды от веса цемента. Эта вода в отличие от воды, заполняющей капиллярные поры, испаряется при более низкой относительной влажности. Например, при среднем расчетном диаметре пор геля вода испаряется только при относительной влажности ниже 65%. Следовательно, если бетон не соприкасается с водой, капиллярная вода может полностью испариться, но при этом останется вода в порах геля. Ее количество будет зависеть от относительной влажности воздуха и величины пор геля. Опыты показали, что бетон при относительной влажности воздуха 65% содержит испаряющуюся воду в количестве около 15% веса цемента.

Для стали в бетоне, так же как и для открытого металла, должна быть некоторая критическая влажность, ниже которой пленки влаги на ее поверхности не могут служить электрическим проводником для перемещения зарядов между анодными и катодными участками поверхности, и следовательно, наступит омическое торможение коррозионного процесса. Практика и эксперименты показывают, что такое критическое значение относительной влажности воздуха находится в пределах 50-60%. Наиболее интенсивно развивается процесс коррозии при повышенной влажности, составляющей около 80%. При этом пленки адсорбционной влаги на поверхности арматуры и в прилегающих порах бетона обладают достаточной ионной проводимостью, и электрохимические реакции коррозии начинают протекать с диффузионным контролем катодного процесса ионизации кислорода. При насыщении бетона влагой диффузия кислорода к катодным участкам сильно замедляется. Поэтому процесс коррозии арматуры практически останавливается при влажности воздуха, близкой к 100%. Это справедливо лишь для плотного бетона. В недостаточно плотном бетоне многочисленные крупные сквозные поры не закрываются влагой, кислород продолжает свободно поступать к поверхности арматуры, и процесс коррозии не замедляется.

**Б. Человеческий фактор** – ошибки (несоблюдение технологии, нарушение требований НТД и т.д.) при проектировании, изготовлении, строительстве, реконструкции и эксплуатации.

Дефекты (несовершенство, полученные при проектировании, изготовлении и строительстве) характеризуют начальное напряжённое состояние. Например: проектирование – принятие неверной расчётной схемы; величины и вида воздействий; обеспечение пространственной жёсткости; принятие материалов с заниженными характеристиками по прочности; морозостойкости; водонепро-

нищаемости; нет соответствия между агрессивностью среды и принятыми решениями (вид и компоненты бетона, величина защитного слоя бетона, средства защиты строительных конструкций). Изготовление – нарушение технологии изготовления (занижение характеристик бетона, положение арматуры, уплотнение бетона). Строительство: отступление от проектно-сметной документации.

Повреждения (несовершенства получения при эксплуатации) возникают и развиваются во времени (например: коррозия, эрозия, трещины, прогибы и т.д.). Их можно подразделить на:

- силовые (механические): разрывы, трещины, потеря устойчивости, искривления и местные погибы, расстройство соединений, абразивный износ и т.п.;
- температурные – деформации и разрушение элементов, повреждения защитных покрытий, трещины при высоких и низких температурах;
- химические и электро-химические – коррозия металла и разрушение защиты покрытий.

Например, повреждения от силовых воздействий возникают в результате несоответствия расчётных предпосылок действительным условиям работы конструкций и вызываются:

- ошибками проектирования, связанными с неправильным определением нагрузок и внутренних усилий, подбором сечения элементов и арматуры;
- отличием фактического НДС от расчётного вследствие неизбежного упрощения и идеализации расчётной схемы конструкции, её элементов, узлов и действующих нагрузок, а также недостаточной изученности действительной работы СК;
- недопустимой перегрузкой конструкций при эксплуатации;
- нарушениями при монтаже и эксплуатации взаимного расположения конструкций (смещение прогонов, эксцентриситет и перепады в стыках подкрановых рельс 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.

### **3.2. Методика сбора информации о состоянии объекта**

При проведении обследования средства измерений должны быть допущены к применению на территории Республики Беларусь, поверены в соответствии с СТБ 8003 или аттестованы в соответствии с СТБ 8004. Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с ГОСТ 24555. При выполнении работ по обследованию следует соблюдать правила техники безопасности.

Выполняя натурное обследование, исполнитель несет ответственность за достоверность его результатов, за инженерный смысл и обоснованность выводов. К такой работе должны привлекаться квалифицированные специалисты, имеющие опыт проектной и производственной работы, знающие методику визуальной оценки состояния и признаки наступления предельного состояния конструкции и методы их испытания. Неквалифицированный (не имеющий опыта) обследователь-исполнитель обязан точно зафиксировать результаты

своих наблюдений с тем, чтобы они могли стать достоверной базой для дальнейшего изучения их другими, более опытными специалистами.

Состав и объем работ для проведения обследования устанавливаются техническим заданием. Обследование строительных конструкций и инженерных систем проводится с учетом данных проектной, исполнительной и эксплуатационной документации. При отсутствии проектной документации в полном объеме или несоответствия здания проектной документации, выполняются обмерочные чертежи, включающие: поэтажные планы здания или его отдельных участков, подлежащих обследованию; поперечные и продольные разрезы; схемы расположения элементов здания; эскизы обследуемых конструкций и узловых соединений (виды, сечения).

Для проведения обследования здание разбивается на характерные зоны, назначаемые по следующим признакам: вид конструкции и инженерных систем; особенности нагрузок и воздействий. В пределах каждой зоны фиксируются участки с различным состоянием конструкций и выполняются следующие работы: изучение планировочных и конструктивных решений; анализ их соответствия проектной документации; осмотр и фотографирование конструкции; составление дефектных ведомостей по результатам осмотра и простейших измерений элементов, схем расположения дефектов; определение мест вскрытий и зондирования для последующего детального обследования элементов здания; изучение особенностей близлежащих участков территории; вертикальной планировки; состояния благоустройства участка; организации отвода поверхностных вод; выявление вблизи здания опасных геологических явлений; оценка расположения здания в застройке. В процессе обследования указанный перечень работ может быть уточнен.

При общем обследовании должен проводиться сплошной визуальный осмотр обследуемых элементов здания и фиксирование всех явных дефектов. Если в ходе сплошного контроля, после проверки 25 % общего числа однотипных конструкций, дефекты не выявлены, допускается переход на выборочный контроль с определением объема выборки от числа оставшихся СК в соответствии с табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Допустимое снижение объема выборки

Объем выборки, %	43	100	65	100	32	27	32	13
Вид строительных конструкций	Колонны	Фермы	Балки	Подкрановые балки	Плиты перекрытий	Плиты покрытий	Панели стен	Фундаменты

### 3.3. Характерные виды дефектов и повреждений

Дефекты и повреждения конструкций (как явные, так и скрытые) или последствия их появления всегда проявляется на состоянии объекта и их фиксируют визуально или приборами: отклонения геометрических размеров конструкций, их сечений и участков опираний; наличие трещин, отколов и разрушений; состояние защитных покрытий; прогибы и деформации; нарушение сцепления арматуры с бетоном; наличие разрыва арматуры; состояние анкеровки продольной и поперечной арматуры; степень коррозии бетона и арматуры.

Каждое из этих несоответствий имеет свою "историю" появления, которую необходимо понять, и влияет на напряженно-деформативное состояние и долговечность объекта, что впоследствии должно учитываться в проверочном

расчёте. В качестве примера рассмотрим трещины и покажем, какую информацию могут они дать. Следует различать трещины, появление которых вызвано напряжениями, проявившимися в железобетонных конструкциях в процессе изготовления, транспортировки и монтажа, и трещины, обусловленные эксплуатационными нагрузками и воздействием окружающей среды. К трещинам, появившимся в доэксплуатационный период, относятся: технологические, усадочные трещины, вызванные быстрым высыханием поверхностного слоя бетона и сокращением объема, а также трещины от набухания бетона; трещины, вызванные неравномерным охлаждением бетона; трещины, возникшие в сборных железобетонных элементах в процессе складирования, транспортировки и монтажа, при которых конструкции подвергались силовым воздействиям от собственного веса по схемам, не предусмотренным проектом. К трещинам, появившимся в эксплуатационной период, относятся: трещины, возникшие в результате температурных деформаций из-за нарушений требований устройства температурно-деформационных швов; трещины, вызванные неравномерностью осадок грунтового основания, что может быть связано с нарушением требований устройства осадочных деформационных швов, проведением земляных работ в непосредственной близости от фундаментов без обеспечения специальных мер; трещины, обусловленные силовыми воздействиями, превышающими несущую способность железобетонных элементов.

Трещины силового характера необходимо анализировать с точки зрения напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции. Встречаются следующие виды трещин:

а) в изгибаемых элементах, работающих по балочной схеме (балки, прогоны), возникают трещины, перпендикулярные (нормальные) продольной оси, вследствие появления растягивающих напряжений в зоне действия максимальных изгибающих моментов и трещины, наклонные к продольной оси, вызванные главными растягивающими напряжениями в зоне действия перерезывающих сил и изгибающих моментов;

б) в плитах возникают следующие трещины: в средней части плиты, имеющие направление поперек рабочего пролета с максимальным раскрытием на нижней поверхности плиты; на опорных участках, имеющие направление поперек рабочего пролета с максимальным раскрытием на верхней поверхности плиты; с возможным отслоением защитного слоя и разрушением бетона плиты. Трещины на опорных участках плит поперек рабочего пролета свидетельствуют о недостаточной несущей способности по изгибающему опорному моменту. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты;

в) в колоннах образуются вертикальные трещины на гранях колонн и горизонтальные. Появление продольных трещин вдоль арматуры в сжатых элементах свидетельствует о разрушениях, связанных с потерей устойчивости (выпучиванием) продольной сжатой арматуры из-за недостаточного количества поперечной арматуры. Горизонтальные трещины в железобетонных колоннах не представляют непосредственной опасности, если ширина не превышает допустимую, а появление связано с нарушением технологии изготовления;

г) появление в изгибаемых элементах поперечной, практически перпендикулярной продольной оси элемента, трещины, проходящей через все сечение, может быть связано с воздействием дополнительного изгибающего момента в горизонтальной плоскости, перпендикулярной плоскости действия основного изгибающего момента (например, от горизонтальных сил, возникающих в подкрановых балках). Такой же характер имеют трещины в растянутых железобе-

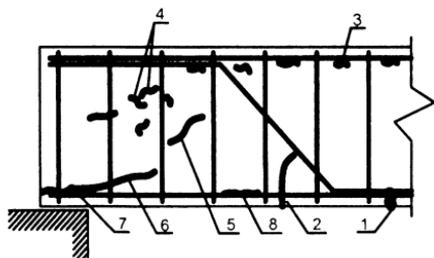
тонных элементах, но при этом трещины просматриваются на всех гранях элемента, т. е. опоясывают его;

д) трещины на опорных участках и торцах железобетонных конструкций. Обнаруженные трещины у торцов предварительно напряженных элементов, ориентированные вдоль арматуры, указывают на нарушение анкеровки арматуры. Об этом же свидетельствуют и наклонные трещины на приопорных участках, пересекающие зону расположения предварительно напряженной арматуры и распространяющиеся от нижней грани опоры;

е) элементы решетки раскосных железобетонных ферм могут испытывать сжатие, растяжение, а в опорных узлах – действие перерезывающих сил.

Дефекты в виде трещин и отслоения бетона вдоль арматуры железобетонных элементов могут быть вызваны и коррозионным разрушением арматуры. В этих случаях происходит нарушение сцепления арматуры с бетоном. Его можно установить простукиванием поверхности бетона (при этом прослушиваются пустоты). Продольные трещины вдоль арматуры с нарушением сцепления ее с бетоном могут быть вызваны и температурными напряжениями при эксплуатации конструкций с систематическим нагревом свыше 300 °С или после пожара. В изгибаемых элементах, как правило, появлению трещин способствует увеличение прогибов и углов поворота. Недопустимыми (аварийными) можно считать прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета при ширине раскрытия трещин в растянутой зоне более 0,5 мм.

Ширину раскрытия трещин рекомендуется измерять в местах максимального их раскрытия и на уровне центра растянутой арматуры. Степень раскрытия трещин сопоставляется с нормативными требованиями по предельным состояниям второй группы предельных состояний в зависимости от вида и условий работы конструкций. На рисунке 3.1. дана схема возможных трещин в приопорной зоне изгибаемого элемента. Предлагается самостоятельно оценить причину их появления и степень влияния на работу объекта.



*Рисунок 3.1 – Схема возможного расположения трещин в изгибаемом элементе*

При выполнении работ необходимо не только фиксировать дефекты и повреждения, но и определять их количественные характеристики.

**Определение** глубины нейтрализации бетона. Скалывается бетон. Участок скола смачивается раствором (0.1%-й спиртовой раствор фенолфталеина). Измеряется участок бесцветный (структура нейтрализованного слоя).

**Определение** ширины раскрытия трещины. Измерение выполняют на уровне центра арматурного стержня. Если это невозможно, то на поверхности бетона с умножением на коэффициент 0.98 (при толщине защитного слоя до 20 мм).

**Определение** степени повреждения арматуры коррозией. Коэффициент ослабления сечения арматуры коррозией определяют, измеряя исходный диаметр ( $d_0$ ) и поврежденный коррозией ( $d$ ):

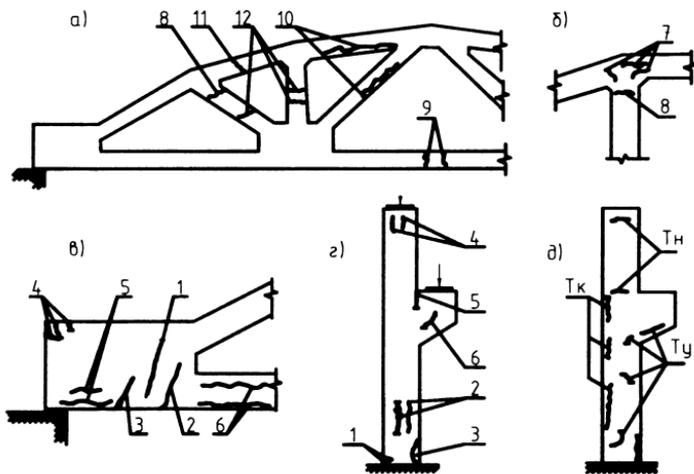
$$K_s = 1 - [(d_0^2 - d^2)/d_0^2]. \quad (3.1)$$

При наличии у высокопрочной проволочной арматуры язвенной или питтинговой коррозии; при наличии признаков коррозии, связанных с действием хлоридов, арматура в расчёте не учитывается.

Наличие скрытых дефектов и повреждений и их количественная характеристика или характеристика материала контролируется приборами:

- ускоренное определение морозостойкости бетона dilatометрическим методом (ГОСТ 10060.3-95) – БЕТОН-ФРОСТ;
- измеритель проницаемости бетона методом вакуумирования – ВИП-1;
- определение прочности бетона ударно-импульсным методом – ОНИКС-2.6, ИПС-МГ4.03;
- определение прочности бетона методом отрыва со скалыванием – ОНИКС-ОС, ПОС-50МГ4 “Скол”;
- определение прочности бетона методом скола ребра – ОНИКС-СР;
- контроль прочности, поиск дефектов, замер глубины трещин – ультразвуковой прибор – ПУЛЬСАР-1.2;
- поиск дефектов, измерение длины железобетонной сваи – “СПЕКТР-2.0”;
- определение влажности бетона – влагомер “МГ4”;
- контроль положения арматуры и величины защитного слоя бетона – “ИПА-МГ4”, “Поиск-2.3”.

На рис. 3.2 в качестве примера приведены наиболее характерные трещины.



1 – низкий класс бетона, недостаточное количество поперечной арматуры, большой её шаг; 2 – недостаточное количество поперечной арматуры, проскальзывание продольной арматуры; 3 – нарушение анкеровки преднапряжённой арматуры, низкий класс бетона; 4 – недостаток косвенной арматуры при обжатию бетона; 5 и 6 – недостаток косвенной арматуры из сеток или замкнутых хомутов, низкая прочность бетона в момент обжатия; 7 – недостаток поперечной арматуры в узле; 8 – недостаток анкеровки рабочей арматуры растянутого раскоса; 9 – перегрузка ферм, недостаточное преднапряжение продольной арматуры; 10 – коррозия арматуры; 11 – изгиб из плоскости ферм на стадии транспортировки или монтажа; 12 – перегрузка фермы, смещение арматурного каркаса; Т<sub>у</sub>, Т<sub>к</sub>, Т<sub>н</sub> – трещины от усадки, коррозии арматуры и из-за недостаточной толщины защитного слоя бетона – технологические

**Рисунок 3.2 – Характерные виды трещин в строительных конструкциях: в стропильных фермах (а, б, в); колоннах (г, д)**

### 3.4. Определение физико-механических характеристик бетона

Практика обследования показывает, что отдельные этапы программы в ходе работы могут выполняться не в определенном порядке, а одновременно. Например, прочность бетона, фактическое армирование и величины нагрузок часто определяются одновременно с составлением ведомостей дефектов. Кроме того, по ходу обследования рекомендуется проводить предварительные расчеты на основании расчетных и действительных характеристик материалов и нагрузок. Для окончательных выводов по обследованию необходимо выполнить проверочные расчеты по уточненным действительным нагрузкам, характеристикам материалов и сечениям элементов. При отсутствии какой-либо проектно-технической документации следует попытаться решить необходимые вопросы на основании имеющихся материалов и по состоянию конструкций в натуре. Случается, что даже неполных данных может быть достаточно для решения частных вопросов, что должно подтвердиться дальнейшими исследованиями.

Наряду с определением площади и глубины распространения дефекта, в процессе непосредственного обследования проводится проверка прочности бетона неразрушающими методами. Существующие механические способы связаны с измерением следующих показателей:

- местных необратимых (пластических или упругопластических) деформаций, в виде вмятин и отпечатков на гладкой бетонной поверхности, специально создаваемых действием динамической нагрузки (эталонный молоток НИИМосстроя, прибор типа ХПС, диск-маятник ДПГ-4, склерометр КМ с ударником, снабженным шариком Ø10 мм);
- упругого отскока от бетонной поверхности, т.е. упругой реакции материала на калиброванный удар (склерометр КМ и Шмидта типа N с ударниками, имеющими радиус сферы 18 мм);
- усилия, необходимого для вырывания из бетона специально заделываемого в него стержня или конуса, скалывания ребра (прибор ГПНВ5, ГПНС-5).

Перечисленные методы основаны на корреляционной зависимости между определяемой прочностью бетона на сжатие и числовой характеристикой данного метода. Поэтому связь между показаниями прибора и прочностью бетона на сжатие устанавливается в результате тщательной тарировки прибора, которая заключается в параллельном испытании бетонных кубов-образцов как неразрушающим методом, так и с разрушением под прессом. По их результатам строится тарировочный график, на котором отражаются граничные и средние значения показаний приборов. Тарировка приборов тем надежнее, чем больше получено точек для построения графика и чем меньше различались условия испытаний.

Максимальное отклонение показаний прибора (при тарировке на контрольных кубах) от наиболее вероятной прочности должно составлять в 95% случаях не более 15%. Допускается использование осредненных тарировочных зависимостей, указанных в инструкциях к приборам. При этом рекомендуется производить корректировку этих зависимостей по результатам испытаний кубов из того же состава, что и испытываемая конструкция, а при их отсутствии – по результатам испытания кернов, взятых из обследуемой конструкции. Если контрольных кубов нет, а керны взять невозможно, ориентировочная оценка прочности бетона проводится по осредненным тарировочным зависимостям с поправками на влажность и возраст бетона. Наиболее портативными приборами являются эталонный молоток НИИМосстроя, прибор ХПС, склерометры КМ и Шмидта. Они обеспечивают примерно одинаковую точность определе-

ния прочности бетона и используются при необходимости обследования большого количества участков конструкций в относительно короткое время.

Эталонный молоток НИИМосстроя (конструкция К.П. Кашкарова) прост и надежен в эксплуатации. Он дает значение прочности бетона по отношению диаметров одновременных отпечатков на поверхности бетона и на поверхности металлического эталона, причем предполагается, что отношение отпечатков не зависит от силы удара. На результат испытания не оказывает влияния положение испытываемой поверхности (вертикальное, горизонтальное, наклонное). Однако работа с прибором трудоемка из-за необходимости измерения отпечатков и на бетоне, и на эталоне, а затем – вычисления их отношения. На влажном бетоне от шарика получают увеличенные отпечатки. Определение прочности замороженного бетона производить не рекомендуется, так как можно получить неправильные результаты. В случае необходимости проведения таких работ бетон в местах испытаний следует предварительно прогреть и просушить. Если поверхностный слой бетона пересушен, то от лунок при ударе шариковым молотком идут радиальные трещины, а при ударе обушком – раствор крошится. Некоторые опытные обследователи оценивают прочность растворной составляющей бетона и глубину пересушенного или подмороженного поверхностного слоя при помощи тонкого зубила или шила. Замечено, что раствор прочностью меньше 10 МПа под зубилом осыпается, а острые предметы (шило, гвоздь) забиваются в него сравнительно легко на различную глубину. При прочности бетона порядка 20 МПа и более бетон под зубилом откалывается лещадками. Таких примет механических характеристик бетона существует довольно много. Опытным испытателям с помощью их удается давать весьма точные предварительные характеристики прочностных качеств различных бетонов.

В труднодоступных местах проще использовать приборы, фиксирующие величину упругого отскока массы, специально встроенной в прибор. Этот метод не рекомендуется применять для определения прочности бетона на участках конструкции толщиной менее 50 мм.

Прибор ДПГ-4 дает возможность испытывать большой участок бетона (диаметр диска 160 мм, толщина 10 мм), он прост в измерении отпечатков (по длине следа), стабилен в работе, но массивен и не применим при определении прочности бетона нижней горизонтальной поверхности конструкции. При пользовании этими приборами следует помнить, что нанесение удара не по растворной составляющей бетона, а по высокопрочному крупному заполнителю может существенно исказить показания.

Прибор типа ГПНВ-5 (гидравлический пресс-насос конструкции И.В. Фольфа) дает характеристику прочности при испытании на отрыв и скалывание, причем состояние поверхности бетона не влияет на результат показания, а испытываемая конструкция подвергается лишь местному разрушению на глубину около 5 см. Прибор, хотя и менее портативен, но даёт более точную оценку прочности. Его рекомендуется использовать при натурном обследовании для выборочного контроля.

Все перечисленные приборы при высоком качестве изготовления и регулярной тарировке на бетонных кубах в диапазоне прочностей бетона от 5 МПа до 40 МПа (а некоторые и до 60 МПа) дают погрешность порядка 10...15 %. Такая точность практически достаточна для решения вопроса о состоянии конструкции.

Поверхность бетона должна быть подготовлена к работе с приборами – необходимо обеспечить непосредственное воздействие прибора на бетон, устранив прослойки (штукатурку, облицовку, покраску и т.д.). Наибольшая эф-

фактивность определения прочности бетона ударными методами может быть достигнута лишь в случае, когда удар, нанесенный с целью последующего измерения пластической или упругой деформации, произведен по растворному участку бетона, тогда величина измеренной пластической или упругой деформации отражает прочность цементного камня. Характерным признаком нанесения ударов по растворной части является небольшой разброс измеренных деформаций. Рекомендуется проверять в сколах содержание песка, особенно мелкого, пустот от пузырьков воды и воздуха. В запесоченном бетоне размер лунки от шарика больше, чем в обычном бетоне той же прочности, и наоборот, в бетоне с большим количеством высокопрочного щебня – меньше. Поэтому при проведении обследования следует тарировать приборы по кубикам, изготовленным из бетона, близкого по составу к бетону обследуемой конструкции.

Для конструкций, требующих более точного определения прочности бетона, применяются совместно приборы разного принципа действия. Например, можно одновременно использовать приборы, дающие показания прочности по упругим свойствам бетона и по величине отпечатка. Целесообразно сочетать более точный, но трудоемкий метод (прибор ГПНВ-5) с менее точным, но более оперативным (приборы КМ, КПС, НИИМосстроя). В сложных случаях прибегают к высверливанию образцов или выпиливанию кубиков. Бетонные образцы рекомендуется вырезать алмазным или твердосплавным инструментом, чтобы сохранить структуру, чистоту поверхности и правильность формы образцов. Особенно тщательно следует определять прочность бетона в тех элементах или участках, где, согласно схеме работы конструкции, прочность бетона имеет наибольшее значение – опорные участки и сжатая зона балок, зоны анкеровки арматуры, сжатые элементы ферм, колонны и т.д. На подготовленном участке наносят не менее 10 ударов, находят среднее показание и по тарировочной таблице определяют прочность бетона.

Объективность оценки прочности бетона (например) при работе с шариковым молотком зависит от опыта и навыка обследователя. В наиболее ответственных участках молоток НИИМосстроя применяется совместно с приборами механического действия. Остальные участки только простукивают молотком – здесь прочность бетона оценивается по сопоставлению с местами определения более объективными механическими приборами. При этом следует обращать внимание на звук, получающийся при простукивании: неплотно уложенный бетон, а также бетон, не набравший прочность, имеет глухой звук, а при наличии отслоений – звук дребезжащий. При плотном, набравшем прочность, бетоне – звук звонкий.

Для оценки однородности бетона массивных элементов – колонн, фундаментов – может быть применена ультразвуковая дефектоскопия. При этом следует обращать внимание не только на скорость прохождения ультразвука, но и на форму импульса на экране осциллографа. В некоторых случаях, при очень тщательной тарировке на кубках из бетона того же состава, что применен для изготовления конструкций, ультразвуковой дефектоскоп можно использовать и для определения прочности бетона. Однако скорость ультразвука в бетоне зависит больше от его плотности, гигрометрического состояния, упругости и наличия в нем трещин, чем от его прочности. Поэтому такое определение прочности должно проверяться приборами механического действия с обязательным, хотя бы визуальным обследованием структуры бетона. Для определения прочности бетонов неизвестного состава, что обычно требуется при натурных обследованиях, применение ультразвуковых приборов без их тарировки на кубках из бетона того же состава не рекомендуется.

Если позволяют условия (размеры конструкций, наличие оборудования) выполняют отбор образцов из бетонного массива согласно ГОСТ 28570 с последующим испытанием. Отбор производится выпиливанием и выбуриванием на участках, удалённых от краёв и стыков строительных конструкций, с учётом напряжённого состояния без наличия арматуры. Форма образцов для испытания должна соответствовать требованиям ГОСТ 10180. Допускается применение бетонных цилиндров диаметром 44...150 мм для определения прочности на сжатие (высота 0.8...2.0 диаметра), на растяжение раскалыванием (высота 0.4...2.0 диаметра), на осевое растяжение (высота 1.0...4.0 диаметра). Размер образца должен превышать размер крупного заполнителя в два раза (при испытании на сжатие) и в три раза (при испытании на растяжение). Минимальный размер образца определяет и количество образцов: 4 ед. (при  $\varnothing \leq 60$  мм); 3 ед. (при  $61 \leq \varnothing \leq 80$  мм); 2 ед. (при  $\varnothing \geq 80$  мм).

На участке конструкции, где бетон достаточно однороден и дефектов не обнаружено, фактическую прочность бетона можно оценить величиной осреднённого показателя механического прибора, уменьшенной на процент точности этого прибора.

Прочность бетона может быть разной не только в различных элементах, но даже в пределах одного элемента. При значительной неоднородности бетона величина прочности, вводимой в проверочный расчет, принимается в зависимости от состояния и условий работы конструкции или ее элемента. Выявленные при обследовании наихудшие показатели прочности бетона в одной конструкции или на одном ее участке нельзя механически распространять на всю конструкцию или на другие конструкции объекта. В ведомостях дефектов или в специальной таблице следует указывать участки, на которых определена прочность бетона. Это необходимо для последующего детального анализа состояния конструкции.

Прочностные характеристики бетона, полученные при испытании, должны быть подвергнуты анализу (обработке). Прочность бетона в серии образцов, изъятых из конструкции и испытанных до разрушения, принимают: в серии из двух образцов – среднее; в серии из трёх образцов – по двум наибольшим; в серии из четырёх образцов – по трём наибольшим; в серии из шести образцов – по четырем наибольшим результатам, (при обработке результатов испытания прочность принимают по оставшимся после отсеивания). Статистическая обработка результатов испытания прочности бетона неразрушающим методом производится по методике Р1.03.042.07[13]. Значения среднестатистической ( $f_{cm}$ ), нормативной ( $f_{ck}$ ,  $f_{ctk}$ ), и расчётной ( $f_{cd}$ ,  $f_{ctd}$ ), прочности бетона определяются по следующим зависимостям:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{и} \quad f_{ctd} = f_{ctk}/1,5; \quad (3.2)$$

$$f_{ck} = 0,8(f_{cm} - t_{wd}S\sqrt{1+1/n}); \quad (3.3)$$

$$f_{ctk} = 0,21\sqrt[3]{f_{ck}^2}, \quad (3.4)$$

где  $n$  – количество участков измерений;

$t_{wd}$  – коэффициент распределения Стьюдента по ISO 2394 при  $(n-1)$  и вероятности  $\varnothing(-\beta) = 0,05$ . Например, при  $n = 10$ ,  $t_{wd} = 1.836$  (см. табл. 3.2)

Таблица 3.2 – Значение коэффициента распределения Стьюдента ( $t_{wd}$ ) согласно ISO 2394

Вероятность $\varnothing(-\beta)$	Число степени свободы, $\nu = n-1$								
	1	2	3	5	7	10	20	30	$\infty$
0.01	3.08	1.89	1.64	1.48	1.42	1.37	1.33	1.31	1.28
0.05	6.31	2.92	2.35	2.02	1.89	1.81	1.72	1.70	1.64
0.01	31.80	6.97	4.54	3.37	3.00	2.76	2.53	2.46	2.33
0.005	63.70	9.93	5.84	4.03	2.50	3.17	2.84	2.75	2.58
0.001	318.0	22.33	10.21	5.89	4.78	4.14	3.55	3.38	3.09

S – среднеквадратическое отклонение случайной величины, МПа.

$$S = \sqrt{\sum_1^n (f_{ci} - f_{cm})^2 / (n - 1)} \quad (3.5)$$

$$f_{cm} = \sum_1^n f_{ci} / n \quad (3.6)$$

### 3.5. Определение положения и физико-механических характеристик арматуры

Определение положения арматуры.

Все данные об армировании конструкций содержатся в рабочих чертежах и документах завода-изготовителя. В заводских паспортах изделий, актах на скрытые работы, картах пооперационного контроля, журналах арматурных работ и других материалах обычно имеются данные о количестве, диаметре и классе арматуры, сведения о ее заменах, перерасчетах арматуры, стыках стержней, результатах испытания стыков, величине и контроле предварительного напряжения арматуры в изделиях, об анкерных устройствах, закладных деталях и т.д.

Обследование заключается в сборе и в ознакомлении с этими данными, сопоставлении их с проектом и выборочной проверке (в характерных местах) фактического армирования проектному. Если заводские данные об изготовлении и армировании отсутствуют, а состояние конструкции вызывает сомнение в качестве армирования, то производят выборочное вскрытие бетона с обнажением арматуры. Для вскрытия бетона используют места повреждений защитного слоя, сколы бетона, трещины, рыхлые и пористые участки. Зафиксированные оголения арматуры, с соответствующими замерами, используются для характеристики фактического армирования. Местное нарушение защитного слоя бетона на участке до 5-15 см допускается в некоторых растянутых элементах или зонах конструкций. Например, можно отбить нижний защитный слой бетона, оголив на небольшом участке рабочую арматуру в средней зоне не преднапряженных балок; в неразрезных балках можно вскрыть верхнюю надпорную арматуру; можно отбить защитный слой, оголив стержни растянутого раскоса фермы; в середине пролета плиты можно пробить борозду в нижнем защитном слое бетона для замера диаметра рабочей арматуры и расстояния между стержнями. Иногда достаточно расширить трещину в растянутой зоне предварительно напряженной балки до арматуры. Сложнее вскрывать поперечную арматуру (вертикальные хомуты и отгибы). Для этого на боковой или нижней стороне балки пробивают зубилом горизонтальные борозды для подсчета числа ветвей (срезов) хомутов. Для определения количества и места отгибов делают три-четыре вскрытия на нижней стороне опорной части балки. Количество арматуры в колоннах устанавливают снятием защитного слоя четырьмя поперечными бороздами, расположенными по углам колонны на разных (не ближе 50 см) уровнях.

Чтобы определить армирование в сжатом элементе, конструкцию разгружают или раскрепляют по длине с целью уменьшения усилия в элементе. После обследования место вскрытия тщательно заделывают, восстанавливая сечение элемента. Для проверки арматуры в сжатой зоне однопролетной балки можно сделать вскрытие полки вблизи опоры, где изгибающий момент незначителен, а сжатая арматура обычно по всей длине балки одинакова.

По данным вскрытия делают эскиз с уточнением расположения, количества и диаметров арматуры в бетонном сечении. По внешнему виду стержней (профилю выступов) определяют класс арматуры, степень ее коррозии, сцепление с бетоном. При обследовании зданий старой постройки трудно определить характеристики стали, так как применявшаяся раньше арматура отличается от современных классов. В таких случаях берут пробы стали для химиче-

ского и металлографического анализов и для механических испытаний. Образцы арматуры вырезают в тех местах, где она не воспринимает предельных усилий, а оставшиеся стержни могут обеспечить работу элемента. Иногда, в целях уменьшения напряжения в арматуре, конструкцию приходится разгружать. Поврежденный стержень восстанавливают приваркой равнопрочной накладки.

Для контроля толщины защитного слоя бетона и нахождения в конструкциях стержней, расположенных отдельно, применяют магнитный метод (ГОСТ 22904). Например, измеритель защитного слоя ИЗС-10Н. Он удобен для определения направления, шага арматуры и позволяют уменьшить количество вскрытий. Этим прибором определяют величину защитного слоя, а иногда и диаметр отдельных стержней. Для оценки состояния стыка или узла надо иметь их изображения в нескольких проекциях. Но марка стали может быть определена только вскрытием и испытанием арматуры.

Для выполнения проверочных расчётов определяется расчётное сопротивление арматуры по одному из предлагаемых способов и конкретной ситуации:

- исходя из класса арматуры по проектным данным;
- по результатам испытания (ГОСТ 12004) отобранных образцов;
- определением химического состава стали арматуры;
- по внешнему виду – профилю арматуры (в случае невозможности реализации других методов).

При испытании отобранных образцов ( $n \geq 5$ ) расчётное сопротивление арматуры определится:

- для арматуры класса S240, S400 и S500:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = (\sum_1^n f_{02k} / 1.1) / 1.15 \quad (3.7)$$

- Для арматуры класса S500 (ненапрягаемой) и S800, S1200 и S1400:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = (\sum_1^n f_{02k} / 1.2) / 1.25 \quad (3.8)$$

Расчётное сопротивление арматуры по внешнему виду поверхности следует принимать равным:

- для арматуры с гладкой поверхностью –  $f_{yd} = 155,0 \text{ МПа}$ ;
- для арматуры периодического профиля;
  - с одинаковым заходом на обеих сторонах профиля (типа “винт”) –  $f_{yd} = 245,0 \text{ МПа}$ ;
  - с разным заходом профиля (типа “ёлочка”) –  $f_{yd} = 255,0,0 \text{ МПа}$ ;
  - серповидный профиль –  $f_{yd} = 315,0 \text{ МПа}$ .

Расчётное сопротивление арматуры сжатию принимается равными расчётному сопротивлению на растяжение и не более 500 МПа.

В итоге для выяснения фактического армирования конструкций составляются следующие документы:

- а) ведомость дефектов, в которой указываются места контрольных вскрытий;
- б) эскизы вскрытий, в которых фиксируются расположение арматуры в бетонном сечении, ее диаметр, класс арматуры;
- в) специальные контурные схемы, на которых фиксируются определенные с помощью специальных приборов расположение, количество, диаметр арматуры и толщина защитного слоя;
- д) протоколы и диаграммы результатов механических и химических испытаний.

### 3.6. Проверочный расчет

Производят по методикам, указанным в действующих на момент обследования нормативных документах. Производят расчет при: наличии дефектов и

повреждений; при изменении нагрузок; при последующей эксплуатации после модернизации производства или реконструкции; при изменении среды эксплуатации и т.д. Цель – обеспечение безопасной эксплуатации объекта в новых условиях.

Расчеты по I группе ПС выполняются всегда, а по II группе ПС, если прогибы и ширина раскрытия трещин не превышают предельно допустимых, допускается не производить при условии, что новые нагрузки не превысят ныне действующие.

Проверке подлежат сечения, имеющие дефекты и повреждения, а также уставки, где прочность бетона снижена на 20% и более.

Расчет выполняется с учетом:

- фактических нагрузок, размеров, расчетных схем и физико-механических характеристик материалов;

- с учетом дефектов, повреждений и фактического состояния конструкций. Например: при местном повреждении сечения – фактические размеры сечения; при наличии продольных трещин по границе полки и ребра в тавровом сечении – полка в расчет не вводится; при появлении продольных трещин в зоне анкерки арматуры она вводится в расчет со снижающим коэффициентом – 0,5 (средние в сечении стержни) и 0,25 (крайние в сечении стержни); при отсутствии связи продольной сжатой арматуры с хомутами (пропуск хомутов, пережог на участке сварки) – продольная сжатая арматура не учитывается; при повреждении поперечного сечения арматуры коррозией на 50% и более продольная арматура не учитывается в расчете; не учитывается и высокопрочная проволочная арматура корродирующая под действием хлоридов или подверженная язвенной или питтинговой коррозии.

О предельном состоянии объекта можно судить и по внешним признакам, а именно: при снижении прочности бетона на 40 % и более (цвет, структура, механическое воздействие); состояние зон анкерки арматуры – пропитка нефтепродуктами, продольные трещины, отслоение защитного слоя бетона, коррозия арматуры, деформации закладных деталей при недостаточной длине опирания; потере устойчивости сжатой арматуры (выпучивание стержней); разрывы стержней; наличие трещин – раскрытием более 0,5 мм, пересекающих растянутую и сжатую арматуру (наклонные и нормальные); смятие бетона сжатой зоны; деформации элемента (для изгибаемых – более 1/50 L, для консолей – более 1/25 L).

### 3.7. Оценка технического состояния объекта

Производится итоговая оценка технического состояния с учетом методики раздела 1.5, данных проверочного расчета и анализа результатов обследования, где учитывается не только вид, количество, но и числовые параметры дефекта в сравнении с нормируемыми. Ниже дан встречающийся набор несоответствий.

**I. Состояние исправное (хорошее)** – выполняются требования НТД, долговечность по сравнению с проектом не снижена, необходимости в ремонтно-восстановительных работах нет.

Характеристика объекта: бетон – прочность не ниже проектной, на поверхности нет трещин, сколов, бетон защитного слоя имеет глубину нейтрализации не более 0,25 размера, антикоррозийная защита не нарушена.

**II. Состояние неисправное (удовлетворительное)** – объект удовлетворяет требованиям НТД, но имеет признаки снижения долговечности.

Характеристика объекта: бетон – прочность не снижена, на поверхности есть отдельные раковины, сколы, волосяные трещины, антикоррозийная за-

щита на отдельных участках нарушена, продукты коррозии на поверхности арматуры отсутствуют.

**III. Состояние ограничено работоспособное (не вполне работоспособное)** – опасность обрушения отсутствует, необходимо восстановление долговечности (эксплуатационных свойств).

Характеристика объекта: бетон прочность снижена (до 20%), шелушение граней, имеются высолы, разрушение (отслоение) защитного слоя, на всю толщину нейтрализован бетон защитного слоя; есть участки оголения арматуры, есть продукты коррозии (уменьшение площади поперечного сечения арматуры не превышает 5%), раскрытие трещин не превышает допустимое значение, деформации (прогиб) объекта меньше предельного.

**IV. Состояние неработоспособное (неудовлетворительное)** – не удовлетворяются требования НТД по I и II группам ПС.

Характеристика объекта: бетон – снижение прочности более чем на 30%, повреждение бетона сжатой зоны; продольные трещины вдоль арматуры, силовые трещины в зоне среза и в сжатой зоне, снижение площади поперечного сечения арматуры составляет более 15%, нарушение связи продольной и поперечной арматуры, прогиб более чем на 30% превышает допустимый.

**V. Состояние предельное (предаварийное)** – объект не удовлетворяет требованиям НТД по прочности, жесткости и устойчивости, существует угроза обрушения.

Характерные признаки: смятие бетона в сжатой зоне, трещины в зоне анкеровки арматуры, раскрытие трещин более 1 мм, прогиб составляет более 1/50 (для изгибаемых элементов) и 1/25 (для консолей), разрывы продольной и поперечной арматуры, выпучивание сжатой арматуры.

После определения технического состояния объекта разрабатываются рекомендации по: ремонту с восстановлением параметров эксплуатации и долговечности (II и III состояние); усилению или ограничению условий эксплуатации с последующим восстановлением долговечности (IV состояние); удалению людей из зоны поражения при обрушении объекта; ограждению зоны; выполнению временного усиления; разработке усиления или демонтажа объекта (V состояние).

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите причины появления дефектов (на стадии проектирования, изготовления, строительства) и предложите мероприятия по их недопущению.
2. Назовите причины появления повреждений при эксплуатации и разработайте предложения по их недопущению.
3. Основные положения методики сбора информации при обследовании.
4. Дайте характеристику трещинам из рис. 3.1 и укажите причину их появления.
5. Как определить прочность бетона по образцам, отобраным из конструкции?
6. Оцените результаты определения прочности бетона неразрушающими методами.
7. Как определяются прочностные характеристики арматуры при обследовании?
8. Назовите способы определения положения арматуры в сечении.
9. Какую прочность бетона используют в расчете, если ее параметры меняются по высоте сечения (например, после воздействия температуры)?
10. Назовите внешне признаки, свидетельствующие о достижении предельного состояния объекта, и обоснуйте их.

## ТЕМА №4. ДИАГНОСТИКА ОБЪЕКТОВ ИЗ МЕТАЛЛА

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 4.1. Причины появления дефектов и повреждений (с. 10-30 [18]).
- 4.2. Методика сбора информации о состоянии объекта (с. 10-12 [7]).
- 4.3. Характерные виды дефектов и повреждений (с. 45-47 [2]).
- 4.4. Определение физико-механических характеристик металла (с. 15-24 [7]).
- 4.5. Проверочные расчёты (с. 8-9 [11]).
- 4.6. Оценка технического состояния (с. 19-21 [2]).

### 4.1. Причины появления дефектов и повреждений

Причиной появления дефектов и повреждений следует считать: качество материала, проектные ошибки (в том числе и в НТД), нарушение технологии изготовления, отступление от проекта, условия эксплуатации (см. рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Частота появления несовершенств у МК

Этому способствуют и особенности СК из металла, а именно: повышенные требования к качеству исходного материала и точности исполнения проектного решения, поскольку у МК создаются минимальные запасы по прочности (высокие значения характеристик, их стабильность, однородность структуры); открытость сечений для прямого контакта со средой эксплуатации; повышенная чувствительность к любым несовершенствам, как основных элементов, так и видов соединения (болтовое, заклёпочное, на сварке).

**Качество материала** не всегда обеспечивается при выплавке и изготовлении СК. Это характеризуется пониженными характеристиками основного и наплавленного металла, дефектами, приводящими к концентрации напряжений, усталостному или хрупкому разрушению.

**Проектные ошибки** – это неправильное определение нагрузок и внутренних усилий, подбор и выбор сечений элементов и узлов, отличие фактического напряжённого состояния от расчётного вследствие неизбежного упрощения и идеализации расчётной схемы конструкции, элементов, узлов и действующих нагрузок, а также недостаточной изученности работы конструкций и характера воздействий.

**К дефектам при возведении и изготовлении** конструкций следует отнести нарушения при монтаже взаимного расположения конструкций (смещение прогонов, эксцентриситет, перепады в стыках подкрановых рельсов и т.п.), которые приводят к появлению дополнительных, неучтённых расчётом нагрузок и динамических воздействий. Сюда же можно отнести дефекты сварки (в ча-

стности неполный провар шва), произвольное изменение сечения, размеров сварных швов, количества заклёпок и болтов как в процессе изготовления, так и в процессе монтажа.

**Дефекты при эксплуатации** вызываются недопустимой перегрузкой конструкций при эксплуатации, нарушением правил технической эксплуатации: ударами транспортируемых грузов, использованием конструкций для подвески блоков, опирания домкратов, подъёма и перемещения грузов при ремонтах без соответствующего расчёта и необходимого усиления, вырезки отверстий в элементах СК для пропуска коммуникаций, удалением связевых элементов.

Все эти причины приводят к появлению дефектов и повреждений в металлических конструкциях. Все дефекты можно разделить на несколько групп:

**1. Ослабления сечений** (отверстия, пережоги, вырывы). Это приводит к уменьшению сечения элемента и концентрации напряжений, что снижает несущую способность элемента.

**2. Трещины в металле**, представляют опасность (как технологические, так и силовые), поскольку ослабляют сечение и вызывают концентрацию напряжений.

**3. Искривление всего элемента** вследствие механических воздействий или потере общей устойчивости как в плоскости изгиба, так и из плоскости. Это приводит к возникновению дополнительных напряжений, а в случае потере устойчивости означает превышение критической нагрузки.

**4. Искривление части элемента** из-за механических воздействий и из-за местной потери устойчивости с ростом параметров напряженного состояния.

**5. Расцентровка элементов** возникает из-за ошибок монтажа или изготовления конструкции, приводит к появлению дополнительных усилий в элементах.

**6. Дефекты болтовых и заклёпочных соединений:** ослабления или отсутствие болтов и заклёпок. Ослабления болтовых соединений проявляются в проворачивании болтов. Заклёпочное соединение считается с дефектом, если заклёпки потеряли правильную форму, привариваются, срезаются.

**7. Коррозия.** Она приводит к ослаблению сечения, её опасность заключается в том, что не видно, насколько ослаблено сечение. Это можно определить только после очистки поверхности от ржавчины до чистого металла и измерения.

Необходимо отметить, что все несовершенства появляются как по объективным, так и по субъективным причинам и, как следствие, в итоге влияют на эксплуатационную пригодность (снижение показателей, необходимость усиления).

#### **4.2. Методика сбора информации о состоянии объекта**

Работы выполняются согласно техническому заданию, с использованием технических средств, с составлением схем расположения дефектов и повреждений с указанием их количественных характеристик.

Техническое задание определяет цель, задачи и объём выполняемых работ и включает всю имеющуюся информацию об объекте в пояснительной записке о имеющемся комплекте материалов (данные по работе службы эксплуатации, чертежи марки АС, КМ, КМД, чертежи на усиления, схемы действующих и прогнозируемых нагрузок, зоны с наличием агрессивных факторов среды эксплуатации).

Технические средства измерения должны быть аттестованы (СТБ 8004) или проверены (СТБ 8003), а исполнители иметь соответствующую квалификацию. Тип и количество приборов определяется в каждом конкретном случае. Например: линейки (ГОСТ 427) и рулетки (ГОСТ 7502) измерительные, штан-

генциркуль (ГОСТ 166), щуп измерительный (№2 марка 82202), магнитный толщиномер (ВТ – 100НЦ), уровни (ГОСТ 11196), скоба индикаторная (ГОСТ 11098), лупа измерительная (ГОСТ 25706), теодолит (марка 2Т2), нивелир (марка Н-05), ультразвуковой толщиномер (марка УТ-93П), ультразвуковой дефектоскоп (марка Х В-5М), виброметр строительный (марка Вист-2), дефектоскоп (марка УД2-12), микроволновой толщиномер (марка ДТВ-03), твердомер (марка ТМ-300) и т.д. На планах объекта (конструкции) наносят, используя условные обозначения (см. приложение Г ТКП 45-5.04049-2007 [7]) схемы дефектов и повреждений и их количественные параметры. Составляют три типа ведомостей результатов обследования (по дефектам и повреждениям, по сварным, болтовым, заклёпочным соединениям, по размерам сечений элементов). В ведомости отражают код СК, код узла, вид дефекта, повреждение, длины швов, сечение элемента, эскиз, фактическую характеристику, допускаемое значение параметра согласно ПСД, предложения по устранению (при необходимости). Форма ведомостей дана в приложении В [7].

Подготовительные работы включают: предварительный осмотр (знакомство с объектом, поиск документации, определение способов доступа к объекту с соблюдением требований ТБ); подбор и анализ технической документации на строительство, по эксплуатации; получение и согласование техзадания (разрабатывается заказчиком и проектной организацией); составление рабочей программы обследования (определяют состав и объём работ, методики выполнения, состав технологической базы, условия безопасности ведения работ); оформление договора (определяет сроки и обязанности сторон).

Техническое обследование стальных конструкций состоит из общего и детального обследования. Общее обследование: для общей оценки состояния, соответствие проектной документации объёмно-планировочного и конструктивного решения, вида, характера нагрузок и условий эксплуатации. Ведётся сплошной визуальный осмотр с фиксацией всех явных дефектов и повреждений. Общая площадь разбивается на зоны (не более 1000 м<sup>2</sup>). Если после проверки 25% однотипных объектов несоответствия не установлены, допускается переходить на выборочный контроль наиболее нагруженных МК. Итогом общего обследования должна быть оценка общего технического состояния объекта, износа СК и инженерных систем, их пригодности к дальнейшей эксплуатации (при необходимости рекомендации по ремонту) и решён вопрос о необходимости выполнения детального (инструментального) обследования.

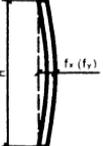
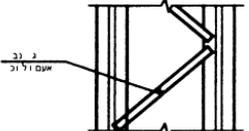
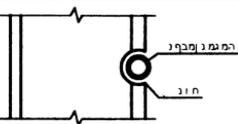
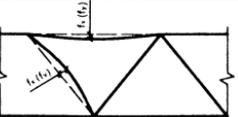
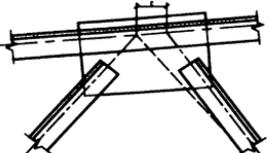
Детальное обследование проводится: на основании результатов общего обследования; при отсутствии ПСД, при увеличении нагрузок и изменении условий эксплуатации; при наличии элементов или СК с 3-й категорией технического состояния, при паспортизации объекта. При его проведении должны быть решены следующие вопросы: выполнены подробные обмеры объектов, их узлов, зафиксированы количественные параметры дефектов и повреждений, определены фактические характеристики материалов и нагрузок, проверочные расчёты, разработаны рекомендации по ремонту и усилению конструкций.

### **4.3. Характерные виды дефектов и повреждений**

Характерными дефектами, влияющими на эксплуатационную пригодность, являются: отклонения геометрических размеров сечения и положения; расцентровка (неточная подгонка) элементов в узлах; общее искривление, отклонение при монтаже; отсутствие элементов и соединений (связи, болты, сварка); дефекты сварного шва; дефекты болтовых и заклёпочных соединений,

дефекты антикоррозионных покрытий или их несоответствие существующей агрессии. Характерными повреждениями МК являются: разрывы, разрезы, надрезы несущих элементов; общие и местные искривления, ослабления болтовых и заклёпочных соединений; разрушение защитных покрытий и коррозия металла; вынужденные деформации конструкций из-за неравномерной осадки фундаментов и температурных воздействий. Ниже в качестве примера приводятся схемы характерных дефектов и повреждений. Полный перечень схем дан в разделе 7 [7].

Таблица 4.1 – Виды характерных дефектов и их предельные отклонения

Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные отклонения
Выгибы (кривизна) колонн, опор и связей между колоннами в плоскости ( $f_x$ ) и из плоскости ( $f_y$ )		$f_x (f_y) \leq 0,0013 H$ , но не более 15 мм ( $H$ – расстояние между точками закрепления)
Разрывы или отсутствие элементов решётки (расколов) сквозной колонны или фермы		Не допускаются
Вырезы в поясах и стенке колонны		Не допускаются
Местная потеря устойчивости стенки в местах локального действия нагрузки		Не допускаются
Трещины в фасонках ферм и сварных швах		Не допускаются
Выгиб отдельного элемента фермы в плоскости ( $f_x$ ) и из плоскости ( $f_y$ )		$f_x \leq 0,0013l$ , $f_y \leq 0,0013l$ , но не более 15 мм
Расцентрирование осей стержней ферм в узлах. Расцентрирование осей примыкания связей		$e \leq 3$ мм

К общим несовершенствам элементов (см. табл. 4.1) отнесём: выгибы, разрывы, вырезы, местную потерю устойчивости, трещины в фасонках и сварных швах, выгиб отдельного элемента фермы из плоскости, расцентровка осей стержней ферм в узлах, смещение опор плит покрытия и прогонов относительно оси узла фермы, сближение стержней решётки с верхним поясом, погнутость узловых фасонки, смещение осей верхнего и нижнего поясов фермы в плане, местные погибы полок уголков, тавров, швеллеров; отклонение стоек фонаря и фонарных панелей от вертикали, пробоины и вырезы в стенках и полках элементов, погнутости и вмятины стенок, перекося или грибовидности полок, истирание верхней поверхности головки кранового рельса, выколы и изломы в головке и подошве рельса, усталостные повреждения в верхней зоне стенки и рёбрах жёсткости, сварных подкрановых балок, разрушение сварных швов крепления подкрановых балок к колоннам.

**Коррозионные повреждения.** Поверхность очищается металлической щёткой. Удалять неразрушенное полимерное покрытие с отдельных участков следует при условии его восстановления. Измерение толщины повреждённого коррозией элемента выполняют не менее чем в трёх сечениях (по 8-10 измерений при сплошной коррозии и 20...30 измерений при язвенной коррозии).

Таблица 4.2 – Виды коррозии и её предельные значения

Наименование вида коррозии	Эскиз	Предельное значение
Сплошная		Не допускается
Пятнами (неравномерная)		Не допускается
Язвенная		$h_n \leq 0,5 \text{ мм}, d_n \leq 2 \text{ мм}$
Точечная (питтинговая)		$d \leq 0,1 \text{ мм}$
Межкристаллитная		Не допускается
Щелевая и контактная		$a \leq 0,2 \text{ мм}$
Коррозионное растрескивание и коррозионная усталость		Не допускается

Определяют среднюю скорость коррозии однотипной группы конструкций:

$$V_K = \frac{\Delta_K}{D} = \frac{\sum \Delta_{\Delta} / n_{\Delta}}{D} = \frac{\sum (t_0 - t) / n_{\Delta}}{D} = \frac{\sum ((t_n + 3 \cdot S) - t) / n}{D} \quad (4.1)$$

Учитывается срок эксплуатации конструкции (D), снижение толщины корродирующего элемента ( $\Delta_{\Delta}$ ), количество измерений ( $n_{\Delta}$ ), среднее значение толщины начальной (t) и повреждённой коррозией ( $t_n$ ) элемента с учётом средне-

квадратического отклонения измерений ( $S$ ). Виды коррозионного разрушения даны в таблице 4.2.

Повреждения и дефекты сварных соединений связаны как с нарушениями технологии сварки, отсутствием контроля качества, так и с нарушением условий эксплуатации. К ним отнесём: несоответствие размеров шва проектно-сметной документации, любые трещины, непровары, наплывы, натёки, незаваренные кратеры, свищи, прожоги, скопления включений, подрезы и т.д. (см. табл. 4.3).

При обследовании швов производят зачистку, внешний осмотр, измерение высоты катета, длины, определяют непровар, включения, внутренние трещины. Контроль непровара выполняют засверливанием отверстия ( $d = 8$  мм) по оси шва, протравливанием 20% раствором азотной кислоты и осмотром при помощи лупы. Трещины, не выходящие на поверхность, контролируют неразрушающими методами контроля: ультразвуковым (ГОСТ 14782), магнитопорошковым (ГОСТ 25225), методом рентгенографии (СТБ 1428). Часть несоответствий по сварным швам дана в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характерные дефекты и повреждения и допустимые дефекты швов сварных соединений по ГОСТ 23118

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		высокий	средний	низкий
Трещины	Трещины всех видов, размеров и ориентации	Не допускается		
Поры и пористость	Максимальная суммарная площадь пор от площади проекции шва на оценочном участке*	1%	2%	4%
	Максимальный размер одиночной поры: Стыковой шов Угловой шов Но не более	$d \leq 0.2S$ $d \leq 0.2K$ 3 мм	$d \leq 0.25S$ $d \leq 0.25K$ 4 мм	$d \leq 0.3S$ $d \leq 0.3K$ 5 мм
Скопление пор	Максимальная суммарная площадь скопления пор от площади дефектного участка шва**	4%	8%	16%
	Максимальный размер одиночной поры: Стыковой шов Угловой шов Но не более Расстояние между скоплениями	$d \leq 0.2S$ $d \leq 0.2K$ 2 мм $L \geq 12t$	$d \leq 0.25S$ $d \leq 0.25K$ 3 мм $L \geq 12t$	$d \leq 0.3S$ $d \leq 0.3K$ 4 мм $L \geq 12t$
Газовые полости и свищи	Длинные дефекты	Не допускаются		
	Короткие дефекты Стыковой шов Угловой шов Максимальный размер газовой полости и свища	$h \leq 0.2S$ $h \leq 0.2K$ 2 мм	$h \leq 0.25S$ $h \leq 0.25K$ 3 мм	$h \leq 0.3S$ $h \leq 0.3K$ 4 мм
Шлаковые включения	Длинные дефекты	Не допускаются		
	Короткие дефекты Стыковой шов Угловой шов Максимальный размер включения	$h \leq 0.2S$ $h \leq 0.2K$ 2 мм	$h \leq 0.25S$ $h \leq 0.25K$ 3 мм	$h \leq 0.3S$ $h \leq 0.3K$ 4 мм
Плохое возобновление горения дуги	Местная неровность поверхности шва в месте повторного зажигания дуги	Не допускается		Допускается
Ожог, оплавление основного металла	Местные повреждения вследствие зажигания дуги вне шва	Без исправления не допускается		
Брызги расплавленного металла	Прилипшие брызги к поверхности металла	То же		

Состояние заклёпок, болтов нормальной прочности и высокопрочных болтов контролируют простукиванием молотком, визуально или щупом. Наиболее характерные дефекты таких соединений приведены в таблицах 4.5 и 4.6.

Весьма серьезным дефектом является появление хрупких трещин, которые появляются внезапно при низких уровнях напряжений в металле, сварном шве, в околошовной зоне. Их появление следует связывать с температурой (при снижении температуры уменьшаются пластичность и вязкость стали, а склонность к хрупкому разрушению, особенно у кипящей стали, возрастает); характером нагружения (ударные нагрузки – способствуют развитию импульсных напряжений без протекания релаксации напряжений, а циклические – накоплению микротрещин); наличие концентраторов; качество стали (технология изготовления, наличие фосфора, серы, азота, водорода и углерода содержанием более 0.16%, увеличение толщины проката); типом соединения (сварные швы с дефектами, которые являются концентраторами); конструктивные факторы (резкие перепады сечений, наличие отверстий, сближение и пересечение сварных швов и т.д.).

Характеристика материала, наличие скрытых дефектов и повреждений и их количественная характеристика контролируются приборами:

- дефекты сварного шва: капиллярный метод по ГОСТ 18442 с использованием капиллярной жидкости; радиационный метод по ГОСТ 7512 – просвечиванием рентгеновскими лучами или гамма-лучами; ультразвуковой метод по ГОСТ 14782 – воздействием направленного пучка высокочастотных звуковых колебаний частотой 0,8-2,5 МГц – дефектоскоп УД2-70; метод магнитопорошкового контроля, вихрево-токовый метод- дефектоскоп МАД-8; метод магнитной памяти металла по ГОСТ Р 52005-2003;

- скрытые дефекты: просвечивание ионизирующим излучением – переносный рентгеновский аппарат РПД 200-С; акустический метод – звук 203М (метод свободных колебаний), звук-107 (метод резонансных измерений), УД2-70 (ультразвуковой метод).

Таблица 4.4 – Характерные дефекты и повреждения заклепочных соединений

Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные значения
Трещиноватость головки заклепки		Не допускается
Зарубка головки заклепки		$a \leq 2 \text{ мм}$
Маломерная и недооформленная головка заклепки		$a \leq 0.05d$ $b \leq 0.05d$
Венчик вокруг головки заклепки		$1.5 \text{ мм} \leq a \leq 3 \text{ мм}$ $b \leq 3 \text{ мм}$

Продолжение таблицы 4.4

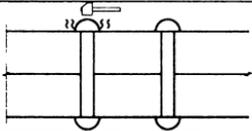
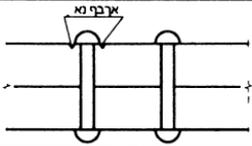
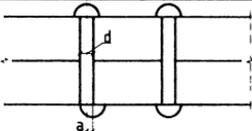
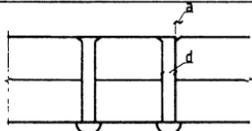
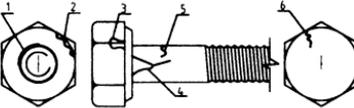
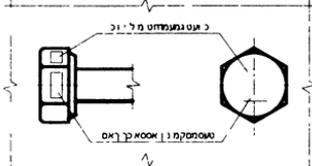
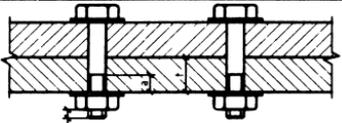
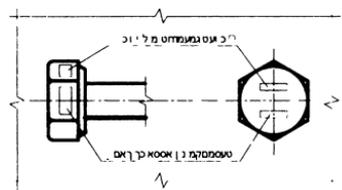
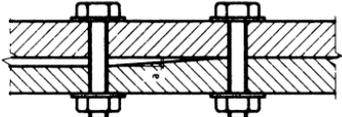
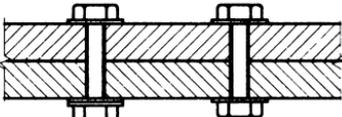
<p>Дрожание или перемещение головки заклепки под ударом молотка массой от 300 до 400 г</p>		<p>Не допускается</p>
<p>Зарубка поверхности металла пакета обжимкой</p>		<p>Не допускается</p>
<p>Смещение оси головки заклепки с оси стержня</p>		<p><math>a \leq 0.1d</math></p>
<p>Неполное заполнение потайной заклепки по диаметру головки</p>		<p><math>a \leq 0.1d</math></p>

Таблица 4.5 – Характерные дефекты и повреждения болтовых соединений

<p>Наименование дефекта или повреждения</p>	<p>Эскиз дефекта или повреждения</p>	<p>Предельные значения</p>
<p>Трещины напряжения: 1 – круговая на радиусе под головкой болта; 2 – на опорной поверхности головки; 3 – на ребре шестигранника; 4 – в продольном направлении; 5 – в поперечном направлении; 6 – поперечная на торце головки</p>		<p>Не допускаются</p>
<p>Соединение на болтах без контролируемого натяжения</p>		
<p>На головке болта отсутствует заводская маркировка, обозначающая класс прочности болта</p>		<p>Не допускается</p>
<p>Под гайкой три и более круглых шайбы по ГОСТ 11371</p>		<p>Не более двух шайб под гайкой и не более одной под головкой болта</p>
<p>Избыток или недостаток в расположении нарезанной части болта относительно крайнего элемента со стороны гайки и выступающей части стержня болта</p>		<p><math>a \leq 0.5t, b \geq 3 \text{ мм}</math></p>

Продолжение таблицы 4.5

Соединение на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением		
На головке болта отсутствует заводская маркировка временно-го сопротивления, клеймо предприятия-изготовителя, товарный знак, условное обозначение номера плавки, а на болтах климатического исполнения ХЛ (по ГОСТ 15150) – также и буквы 'ХЛ'		—
Зазоры между деталями соединений		Щуп толщиной 0,3 мм не должен проходить между элементами соединений
Под гайкой две и более шайбы		Не более одной шайбы под гайкой или головкой болта

Имеются характерные несовершенства и у элементов каркаса (см. табл. 4.6)

Таблица 4.6 – Допустимые отклонения расположения и формы конструкций по ТКП 45-5.04-49 [7]

Отклонения расположения и формы конструктивных элементов	Допуск, мм	
	Одноэтажные здания	Многоэтажные здания
<b>Колонны и опоры</b>		
Отклонения отметок опорных поверхностей колонны и опор от проектных	5	5
Разность отметок опорных поверхностей соседних колонн и опор по ряду и в пролете	3	3
Отклонение осей колонн и опор от разбивочных осей в опорном сечении	5	5
Отклонение осей колонн от вертикали в верхнем сечении для одноэтажных зданий или отклонение от совмещения рисок геометрических осей колонн в верхнем сечении с рисками разбивочных осей для многоэтажных зданий при длине колонн, мм:		
До 4000	-	12
Св. 4000 до 8000 вкл.	10	15
Св. 8000 до 16000 вкл.	12	20
Св. 16000 до 25000 вкл.	15	25
Св. 25000 до 40000 вкл.	20	-
Разность отметок верха колонн каждого яруса	-	0,5n+9
Стрела прогиба (кривизна) колонны, опоры и связи по колоннам	0,0013	-
Односторонний зазор между фрезерованными поверхностями в стыках колонн	0,0007 поперечного размера сечения колонны	
<b>Фермы, ригели, балки, прогоны</b>		
Отклонение отметок опорных узлов от проектных для одноэтажных зданий или разность отметок верха смежных ригелей для многоэтажных зданий	10	15
Смещение ферм, балок, ригелей с осей на оголовках колонн из плоскости рамы для одноэтажных зданий или оси ригеля, балки с оси колонн для многоэтажных зданий	15	8

Продолжение таблицы 4.5

Стрела прогиба (кривизна) между точками закрепления сжатых участков пояса фермы, балки и ригеля	0,0013 длины закрепленного участка, но не более 15	-
Расстояние между осями СК по верхним поясам между точками закрепления для ОПЗ или расстояние между осями ригелей и балок в середине пролета для МПЗ	15	10
Разность отметок верха ригеля по его концам	-	0,001L, но не более 15
Отклонение стоек фонаря и фонарных панелей от вертикали	8	-
Отклонение осей нижнего и верхнего поясов ферм относительно друг друга (в плане)	0,004 высоты фермы	-
Расстояние между прогонами	5	-
Отклонение от симметричности опирания фермы, балок, ригеля (при длине площади опирания 50 мм и более)	10	-

#### 4.4. Определение физико-механических характеристик металла

Для выполнения проверочных расчетов необходимо знать физико-механические характеристики; прочностные характеристики (предел текучести, временное сопротивление), пластичность (относительное удлинение и сужение), склонность к хрупкому разрушению (величина ударной вязкости при разных температурах), свариваемость. В итоге определяют марку стали (или ее аналог согласно действующему ТНПА на поставку металла).

Характеристики можно определить по рабочим чертежам, сертификатам на металл, а также по действовавшим на момент строительства ТНПА. При отсутствии документов, наличии дефектов металла (расслой, хрупкие трещины), повреждений, связанных с качеством металла, при необходимости определения резервов прочности они определяются лабораторным методом по образцам, изъятых из СК. Выполняют химический анализ металла и механические испытания.

**Химический анализ.** Определяется содержание углерода, кремния, марганца, серы, фосфора, азота (для углеродистой стали), дополнительно хрома, никеля, меди (для низколегированной стали). Отбор проб (стружки) ведут по ГОСТ 7565.

Поверхность участка очищается до металлического блеска, сверление выполняют на всю толщину проката, стружка перемешивается, пакуется и маркируется. Выбор участков – в средней трети по ширине элемента, в трех местах по длине каждого элемента. Масса готовой пробы должна быть не менее 50 гр.

Допускается химический анализ вести методом фотоэлектрического спектрального анализа (ГОСТ 18895) и методом спектрографического анализа (ГОСТ 27809) на темплетях (образцах со шлифованной поверхностью) смотрите табл. 4.7

**Механические испытания:** на растяжение (предел текучести, временное сопротивление разрыву, относительное удлинение и сужение, на ударный изгиб с определением ударной вязкости). Отбор проб производит заказчик (согласно заданию) в менее нагруженных сечениях. Задание должно содержать порядок и условия проведения (перечень ТНПА), перечень мест, способы усиления элементов (при необходимости), схемы каркаса, конструкций и узлов с указанием мест отбора.

Образцы отбирают для каждой партии металла (к партии относят: вид проката, толщину входящих в состав однотипных элементов СК одной очереди строительства). Объем партии не более 50 однотипных отправочных элементов общей массой не более 60 т (если это простой прокатный профиль, то до 250 однотипных отправочных элементов), см. табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Число проверяемых элементов, проб и образцов

Вид испытания	Число элементов проверяемых в партии	Число образцов и проб	
		из элемента	всего из партии
Химический анализ	3	1	3
Испытание на растяжение	2 (10) <sup>1</sup>	1	2 (10) <sup>1</sup>
Испытание на ударную вязкость	2 <sup>2</sup>	3 <sup>2</sup>	6 <sup>2</sup>
Отпечаток по Бауману	2	1	2

1. Для определения по результатам статистической обработки значений испытаний.  
 2. Для проверяемой температуры и для испытания после механического старения.  
 3. Для СК 1 и 2 групп по СНиП 11-23 из кипящей стали толщиной более 12 мм при определении распределения сернистых включений способом отпечатка.

Допускается не проводить испытания стали, если: напряжение в стали менее 165 МПа, для СК третьей группы (табл.50 СНиП11-23) при расчетной температуре выше -30°, то же четвертой группы – выше -40°, то же 3 и 4 групп – выше -65° и усиления без сварки, при условии что СК уже эксплуатировалась не менее трех лет.

Размеры заготовок должны обеспечивать возможность изготовления пропорциональных образцов для испытаний. При выпиливании минимальные размеры заготовок для изготовления плоских образцов из проката толщиной 8-10 мм составляют: длина – 205-220 мм, ширина – 30-35 мм. Допускается вырезание заготовок длиной 60-70 мм и шириной 12-15 мм, из которых изготавливаются цилиндрические образцы с  $d_0 = 10$  мм и начальной  $L = 10d_0$ . В случае вырезания образцов автогенном со стороны линии среза должны оставаться припуски не менее 20 мм при толщине элемента до 60 мм и не менее 30 мм при большей толщине.

*Испытание на растяжение производится* на плоских образцах с записью диаграмм растяжения. Предел текучести определяется по диаграмме. Скорость перемещения захвата, мм/мин, при испытании до предела текучести – не более 0,01, за пределом текучести – не более 0,2 длины расчетной части образца. Предпочтительными являются короткие образцы с расчетной длиной  $L = 5,56 F_0$ , где  $F_0$  – площадь поперечного сечения образца.

По результатам испытания на растяжение устанавливается соответствие применяемого в конструкциях и указанного в проектной документации класса стали. В случае, если значение предела текучести или временного сопротивления ниже указанного в ГОСТ, сталь переводится в более низкий класс.

Пластичность стали оценивается по величине относительного удлинения. При полученных значениях относительного удлинения ниже установленных в нормах или соответствующего класса прочности стали следует обратить внимание на возможность появления хрупких трещин, особенно в зоне сварных соединений и повышенной концентрации напряжений.

Склонность стали к хрупкому разрушению выявляется по результатам *испытаний на ударную вязкость*. При неудовлетворительных результатах испытаний на ударную вязкость рекомендуется провести повторную оценку ударной вязкости на удвоенном числе образцов.

Результаты повторных испытаний являются окончательными. В случае, если повторные испытания дадут неудовлетворительные результаты, ставится вопрос о необходимости усиления или замены конструкции.

Результаты обследований заносят в журнал, в котором указываются наименование предприятия, цеха, отделения, вид конструкции и номера использованных чертежей и схем, места отбора проб металла и продуктов коррозии, измерений сечения, высверливании и т.п. факторы обследований.

Отбор производят по ГОСТ 7564: образцы ориентируют вдоль сортового и фасонного проката и поперек-листового и широкополочного, а также с учетом действия растягивающих напряжений.

Изготовление и испытание образцов производят: на растяжение по ГОСТ 1497, на динамический изгиб по ГОСТ 9454, для определения распределения сернистых включений по ГОСТ 10243.

Не менее важным является определение характеристик металла заклепок, болтов и сварного шва. Химический анализ металла заклепок, болтов и сварного шва определяют так же как и для металлопроката.

Для заклепок определяют временное сопротивление срезу испытанием цилиндров ( $\varnothing 10$  мм) по односрезной или двухсрезной схеме. Допускается проводить испытания на разрыв, а напряжения срезу принимать равным временному сопротивлению стали с коэффициентом 0,58.

Для болтов определяют: прочность на разрыв болта, на растяжение образца, на измерение твердости (для гаек- только твердости).

Химический анализ выполняют не менее чем на двух болтах одной партии, а механический – не менее чем на пяти болтах и гайках. (Условная партия – не более 2000 болтов и гаек одного диаметра, резьбы, формы изготовления – точение, накатка, холодная высадка).

Испытание болта с гайкой на разрыв проводится по ГОСТ 17594 (срез резьбы не допускается), образцов ( $\varnothing 10$  мм) из болтов на растяжение – по ГОСТ 1497, на твердость методами Бриннеля (ГОСТ9012), Роквелла (ГОСТ9013) и Виккерса (ГОСТ2999). Твердость определяют: по головке, а холодной высадки без термообработки и высокопрочных – по гладкой части или торцу.

Для металла сварного шва определяют: прочность на растяжение – испытание на растяжение цилиндров, ударную вязкость металла шва и околошовной зоны при температурах  $-20^{\circ}$  и  $-40^{\circ}$ , прочность и пластичность стыковых соединений – испытание на растяжение и ударный загиб в холодном состоянии плоских образцов. Отбор образцов, их размеры и методы испытаний должны соответствовать ГОСТ6996.

На основании результатов испытаний и обследований производятся расчеты несущей способности элементов и конструкции в целом с целью разработки рекомендаций по дальнейшей их эксплуатации и восстановления их несущей способности и эксплуатационной надежности (при необходимости).

#### **4.5. Проверочные расчеты**

При выполнении проверочных расчетов используют фактические значения характеристик металла. Их устанавливают, относя металл к той или иной марке стали согласно действующим ТНПА: для углеродистых свариваемых и низколегированных сталей с ГОСТ 27772, конструкционных углеродистых и легированных сталей с ГОСТ 1050 и 4543 соответственно.

По результатам статистической обработки данных лабораторных испытаний нормативное сопротивление по пределу текучести ( $R_{yно}$ , МПа) или временное сопротивление  $R_{yно}$ , МПа) определяется

$$R_{no} = \sigma_n - \alpha_s \cdot S_R; \quad (4.2)$$

$$\sigma_n = \sum_{i=1}^n \sigma G_i / n; \quad (4.3)$$

$$S_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_n)^2 / (n - 1)}, \quad (4.4)$$

где  $R_{no}$  – предел текучести ( $R_{yно}$ ) или временное сопротивление ( $R_{yно}$ );

$\alpha_s$  – коэффициент учета объема выборки (см. табл. 4.8);

$\sigma_n$  – среднее арифметическое значение предела текучести ( $\sigma_y$ ) или временное сопротивление ( $\sigma_u$ );

$\sigma_i$  – единичные значения испытания;

$n$  – количество испытанных образцов ( $n \geq 10$ ).

Таблица 4.8 – Значения коэффициента учета объема выборки ( $\alpha_s$ )

Количество образцов	10	16	20	30	$\geq 40$
Коэффициент $\alpha_s$	2,372	2,180	2,109	2,010	1,949
Промежуточные значения $\alpha_s$ определяется по линейной интерполяции					

При  $S_R / \sigma_n > 0,1$  следует считать, что в одной партии два разных металла, требуется выполнить анализ и снизить объем партии. Допускается принимать за нормативное значение сопротивления минимальное значение не менее двух испытаний образцов, отобранных из элемента.

Расчетное сопротивление прокатных элементов определяется:

$$R_{yo} = \frac{R_{yно}}{m}, \quad R_{uo} = \frac{R_{uно}}{m}. \quad (4.5)$$

Таблица 4.9 – Значения коэффициента надежности по материалу ( $\gamma_m$ )

Время изготовления СК	Результаты испытаний	Значения $\gamma_m$
До 1932 г.	$R_{yно} < 215 \text{ МПа}$	1,2
С 1932 г. по 1982 г.	$R_{yно} < 380 \text{ МПа}$	1,10
	$R_{yно} > 380 \text{ МПа}$	1,15
После 1982 г.		По табл. 2' СНиП 11-23

Если количество испытаний меньше и полученные при испытании или указанные в сертификатах характеристики удовлетворяют действовавшим ТНПА, то характеристики принимают по минимальным значениям, указанным в ТНПА, в противном случае – минимальным значениям предела текучести, указанным в сертификате или при испытаниях.

Степень коррозионного повреждения учитывается введением в расчет остаточной площади сечения, а если имеет место износ с потерей более 25% площади поперечного сечения или остаточная толщина составляет 5 мм и менее, вводится при определении расчетного сопротивления коэффициент, учитывающий степень агрессивности среды-0,95 (слабоагрессивная), 0,90 (среднеагрессивная), 0,85 (сильноагрессивная).

Расчетные сопротивления срезу и растяжению болтов принимаются:

- по действующим ТНПА (если известен класс прочности);
- если класс прочности неизвестен на срез, как для болтов класса 4.6, на растяжение класса – 4.8;
- по результатам испытаний – на растяжение, по минимальному значению прочности  $R_{bt}$ ; на срез, равным  $R_{bs} = 0.8 R_{bt}$ .

Расчетные сопротивления заклепочных соединений по табл. 4.10 с учетом группы соединений (группа В – заклепки ставят в отверстия просверленные в пакете с кондуктором, группа С – то же без кондуктора). Если группу соединения установить не удастся, то принимают группу С.

Таблица 4.10 – Расчетные сопротивления заклепочных соединений

Группа соединения	Расчетное сопротивление, МПа				
	срезу или растяжению заклепок из стали марок		смятию соединяемых элементов СК	растяжению (отрыву головок) заклепок из стали марок	
	Ст2, Ст3	09Г2		Ст2, Ст3	09Г2
В	180	220	$2 R_{yo}$	120	150
С	160		$1,7R_{yo}$	-	-

Расчетные сопротивления сварных соединений, подлежащих усилению (при реконструкции), назначают с учетом марки стали сварочных материалов, вида сварки, положения шва и способа контроля. Их значения принимают:

- для растянутых стыковых швов: изготовление СК до 1972 г. –  $R_{wy} = 0.55 R_{yo}$ , то же после 1972 г. –  $R_{wy} = 0.85 R_{yo}$

- для растянутых угловых швов  $R_{wy} = 0.85 R_{yno} \gamma_{wf} \gamma_f \gamma_c$  ( $R_{yno}$  – для электрода соответствующей марки стали; коэффициент условия работы  $\gamma_c = 0,8$ ; коэффициент условия сварки  $\beta_f = 0,7$ ;  $\beta_z = 1,0$ ; коэффициент надежности по материалу сварного шва  $\gamma_{wf} = \gamma_{wz} = 1,25$ ).

Допускается уточнение характеристик по результатам испытаний образцов.

Проверочный расчет выполняется с учетом дефектов и повреждений, фактических характеристик материалов, сечений и нагрузок для принятия решения о условиях дальнейшей эксплуатации. Выполняют два варианта расчета; первый с учетом всех фактических параметров по действующим ТНПА и второй – с учетом выявленных резервов несущей способности (второй вариант реализуется, если после расчета по первому варианту установлена недостаточная несущая способность). К разряду резервов отнесем: перерасчет по последним (современным) методикам (нормам); учет фактической работы (пространственная работа каркаса, совместная работа стропильных конструкций и колонн, то же конструкций покрытия и настила), нагруженности (учет фактических нагрузок), геометрических характеристик (в случае их завышения по сравнению с ПСД), фактических свойств стали.

Расчет выполняют по действующим ТНПА.

Например, проверка прочности центрально сжатых и растянутых элементов при симметричном ослаблении.

$$\frac{N_0}{A_{oc}} \leq R_{yo} \cdot \gamma_c, \quad (4.6)$$

где  $\gamma_c = 1,0$  – коэффициент условия работы;

$A_{oc}$  – площадь ослабленного сечения (например вырез, отверстие и т.д.);

$A_{oc} = A_{ef}$  – площадь ослабленного коррозией сечения:

$$A_{ef} = (1 - K_{SA} \cdot \Delta^*) \cdot A_0 \quad (4.7)$$

$A_0$  – площадь неослабленного сечения

$\Delta$  – уменьшение толщины элемент коррозией

$\Delta^* = \Delta$  – при односторонней коррозии замкнутого профиля

$\Delta^* = 0,5\Delta$  – при двусторонней коррозии открытого профиля (уголок, двутавр)

$K_{SA}$  – коэффициент слитности сечения (отношение периметра к площади поперечного сечения).

Допускается принимать:  $K_{SA} = 2/t$  – для уголка,  $K_{SA} = 1/t$  – для замкнутого профиля,  $K_{SA} = 4/(t+d)$  – для двутавра и швеллера ( $t$  и  $d$  – толщина стенки и полки).

При несимметричном ослаблении расчет выполняют с учетом эксцентриситета продольной силы относительно нового ц.т. ослабленного сечения как для внецентренно-сжатого элемента согласно п. 5.12 и 5.17 СНиП 11-23 [11] с учетом геометрических характеристик ослабленного сечения.

Допускается расчетный момент сопротивления определять

$$W_{ef} = (1 - K_{SW} \cdot \Delta^*) \cdot W_0, \quad (4.8)$$

где  $K_{SW}$  – коэффициент изменения момента сопротивления вследствие коррозионного износа (см. табл. ТКП 45-5.04-49 [7]). Например,  $K_{SW} = 0,27$  – для швеллера №16 по ГОСТ 8240,  $K_{SW} = 0,26$  – для двутавра №20 по ГОСТ 8229).

Расчет центрально сжатого элемента со сплошной стенкой с общим искривлением проверяют как внецентренно-сжатого согласно п. 5.27 СНиП 11-23 [11]

$$\frac{N}{\varphi_{eA}} \leq R_{Y0} \cdot Y_C. \quad (4.9)$$

Коэффициент  $\varphi_e$  определяют по табл. 74 [11] с учетом условной гибкости ( $\lambda$ ) и приведенного эксцентриситета  $m_{ef}$ :

$$m_{ef} = K \cdot \eta \cdot m_t, \quad (4.10)$$

где  $\eta$  – коэффициент влияния формы сечения (см. табл. 73 [11]):

$$\bar{\lambda} = \frac{l_{ef}}{i_0} \cdot \sqrt{\frac{R_{Y0}}{E}}, \quad (4.11)$$

где  $l_{ef}$  – расчетная длина стержня в плоскости искривления;

$i_0$  – радиус инерции стержня в нагруженном состоянии;

$\bar{\lambda}$  – условная гибкость стержня в плоскости искривления.

$$K = 0.82 + 0.1 \cdot \sqrt{\eta \cdot m_t / \bar{\lambda}}, \quad (4.12)$$

$$m_t = f_0 \cdot A_0 \cdot W_C, \quad (4.13)$$

где  $m_t$  – относительный эксцентриситет при стрелке искривления ( $f_0$ ) в ненагруженном состоянии при  $A_0 = A_{0E}$  или  $A_0 = A_{ef}$  и  $W_C = W_{ef}$ ;

$W_C$  – момент сопротивления относительно сжатого волокна;

$$f_0 = \varphi_0 \cdot f_{u3} \quad (4.14)$$

$f_{u3}$  – стрелка измеренная при обследовании и  $N_0 = N$  (см. рис. 4.2);

$\varphi_0$  – поправочный коэффициент ( $0 < \varphi_0 \leq 1$ ):

$$\varphi_0 = 1 - 0,1 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_0' / R_{Y0} \quad (4.15)$$

$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_0}$  – гибкость искривления в плоскости искривления.

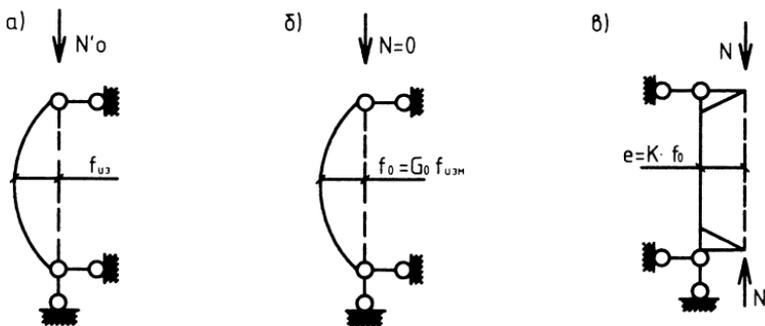
$$\sigma_0' = N_0 / A \leq \pi^2 \cdot E / \lambda^2, \quad (4.16)$$

где  $\sigma_0'$  – начальное напряжение в стержне в момент замера стрелки  $f_{u3}$  (при наличии коррозии  $A_0 = A_{ef}$ )

Другие расчетные ситуации рассмотрены в ТКП45-5.04-49 [7].

#### 4.6. Оценка технического состояния

Выполняют анализ дефектов и повреждений (определяют их допустимость), результатов проверочных расчетов и данных статических (динамических) испытаний (в случае необходимости).



**Рисунок 4.2 – Сжатый стержень с общим искривлением: нагруженный (а), не нагруженный (б), эквивалентный внецентренно-сжатый (в)**

Техническое состояние металлических конструкций может быть отнесено к одной из следующих категорий (подробно см. раздел 1.5):

**1 категория** – исправное (хорошее) состояние: требования НТД выполняются, нет дефектов и повреждений, снижающих как несущую способность, так и пригодность к нормальной эксплуатации;

**2 категория** – неисправное состояние: требования НТД по прочности выполнены, а по ПС второй группы могут быть нарушены. Есть дефекты и повреждения, свидетельствующие о нарушении антикоррозионной защиты;

**3 категория** – ограниченно работоспособное состояние: требования НТД не выполняются, имеющиеся несоответствия указывают на снижение несущей способности и эксплуатационной пригодности. В то же время отсутствует угроза хрупкого обрушения, но требуются ограничения (ограничение нагрузок);

**4 категория** – неработоспособное (неудовлетворительное) состояние: возможно наступление предельного состояния вплоть до достижения напряжений текучести стали, но обрушение конструкции исключено, т.к. возможны только локальные повреждения, нарушающие эксплуатационные качества СК;

**5 категория** – предельное (предаварийное) состояние – возможно наступление предельного состояния по прочности и устойчивости с обрушением СК. Необходимо удаление людей, снятие нагрузки, установка страховочных опор.

### Вопросы для самоконтроля

1. Определите причины появления дефектов у металлических конструкций.
2. Перечислите условия появления повреждений в металлических конструкциях.
3. Составьте план проведения работ по сбору информации о состоянии МК.
4. Перечислите виды дефектов металлических конструкций, которые появляются при проектировании, изготовлении, монтаже и эксплуатации.
5. Назовите дефекты сварных соединений у металлических конструкций.
6. Назовите дефекты МК, имеющих болтовые и заклепочные соединения.
7. Как определяются фактические характеристики металла при обследовании?
8. Как определить степень повреждения коррозией сечений МК?
9. Как учесть дефекты и повреждения при выполнении проверочных расчетов?
10. Чем характеризуется наступление предельного состояния МК?

## ТЕМА №5. ДИАГНОСТИКА ОБЪЕКТОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 5.1. Причины появления дефектов и повреждений (с. 258-296 [21]).
- 5.2. Методика сбора информации о состоянии объекта (с. 16-32 [2]).
- 5.3. Характерные виды дефектов и повреждений (с. 51-52 [2]).
- 5.4. Определение физико-механических характеристик древесины (с. 11-19 [1]).
- 5.5. Проверочные расчёты (с. 20-51 [8]).
- 5.6. Оценка технического состояния (с. 17-9 [1]).

### 5.1. Причины появления дефектов и повреждений

Применение древесины (свыше 50 пород) объясняется высокой прочностью, малой плотностью, малой теплопроводностью, простой обрабатываемостью, считается экологически чистым материалом. Из недостатков отметим: неравномерность свойств в разных направлениях, быстрая загниваемость и возгораемость, высокая гигроскопичность, повреждаемость насекомыми, наличие разнообразных пороков.

Сложилась определенная практика применения древесины: сосна (несущие строительные конструкции, столярные изделия, фанера); лиственница (шпалы, элементы гидротехнических и подземных сооружений); ель и пихта (строительные конструкции и столярные изделия для эксплуатации в сухих условиях); кедр (столярное и мебельное производство); дуб (высокопрочные столярные изделия, паркет, облицовочная фанера, мебель); ясень и бук (мебель, столярные изделия); осина (фанера, кровельные дощечки, тара).

Все факторы, влияющие на долговечность деревянных конструкций можно разделить на природные (снег, ветер, температура, влага) и искусственные (ошибки проекта, изготовления, монтажа, эксплуатации). Все несоответствия разделим на явные и скрытые, а также по времени развития, размеру, срочности устранения. Разделим повреждения на две группы:

- I группа повреждений – без тенденции к расширению (расходы на ремонт не развиваются во времени);
- II группа повреждений – имеет тенденцию к расширению во времени и росту стоимости ремонта (например, повреждения водосточных труб, негерметичность кровли и гниение древесины)

Выделим основные виды воздействий на конструкции из древесины:

– механические: статические нагрузки (снег, собственный вес, проматложения на кровле); динамические нагрузки (ветер, вибрация); эксплуатационный износ (стирание, удары);

– физико-строительные: температура (экстремальные значения, частая смена, перепад значений в пределах одного элемента); диффузия водяного пара (отсутствие или неправильное положение паронепроницаемого слоя, недостаточная вентиляция); теплоизоляция (малый слой, неправильное положение с образованием конденсата, мостики холода, качество изоляционного материала);

– химические: атмосферные (влажность воздуха, агрессивные компоненты – окислы серы, газы сгорания и т.д.); агрессивная (твердая, жидкая) среда (кислоты – серная, соляная, уксусная, щелочи – едкий натр, соли, масла, жиры);

– влажность: атмосферные осадки (негерметичность и малый уклон кровли, дефекты системы удаления воды, брызги); просачивающаяся вода (из земли

террасы, хозяйственная вода); увеличивающаяся влажность (дефекты горизонтальной гидроизоляции – капиллярный подсос, ошибки системы защиты); талая и конденсатная вода (нет вентиляции, неправильно расположен слой пароизоляции).

Дефекты древесины, которые образуются в процессе роста. Ствол дерева состоит из коры, луба, древесины и сердцевины. Для материала характерна анизотропия, что видоизменяет ее свойства в зависимости от направления волокон и угла приложения нагрузки. Сама древесина состоит из трахеид (приблизительно 95% объема), паранхимных клеток (7 – 18%) и воды заполняющей внутренние пустоты (каналы сосудов, полости клеток, межклеточное пространство).

Долговечность деревянных конструкций зависит от условий их эксплуатации и наличия дефектов. Дефекты (пороки) древесины могут быть врожденные и приобретенные. Врожденные дефекты являются следствием ненормальных грунтовых и погодных условий произрастания. К ним относятся:

- сучки, которые снижают прочность и сортность древесины. Они могут быть роговые, рыхлые, лапчатые, оливные;

- пороки строения оказывают такое же влияние на древесину, как и сучки. К ним отнесены свилеватость, косослой, наплывы, капы, эксцентричность слоев, двойная сердцевина.

Перечисленные дефекты снижают прочность древесины, а именно:

- сучки (части ветвей, заключенные в древесине). Различают: кромочные, ребровые, несросшиеся, выпадающие, загнившие, гнилые, табачные. Они затрудняют обработку, снижают прочность на растяжение и изгиб;

- наклон волокон (косослой) снижает прочность на изгиб и растяжение;

- разрывы вдоль волокон (трещины). Различают трещины метиковые, простые и сложные, морозные, усушки, отлупные. Могут быть боковые, пластовые, кромочные, торцовые, неглубокие, сквозные, сомкнутые, разошедшиеся. Некоторые их виды снижают прочность древесины;

- сердцевина – средняя, низкая по прочности часть ствола.

Именно поэтому ограничивается количество перечисленных пороков в деловой древесине, которая в свою очередь делится по сортам (см. табл. 5.1).

Дефекты при проектировании ДК. Не обеспечены: надежная защита от увлажнения атмосферными осадками (например – устройство внутреннего водоотвода); условия нормального температурно-влажностного режима (например – недостаточное эффективная вентиляция); имеются ошибки конструктивного плана (несущая способность, жесткость, пространственная устойчивость).

Конструкционная профилактика должна реализовываться на стадии проектирования независимо от срока службы объекта, при разработке типовых решений, при привязке проекта к реальным условиям – грунтовым, рельефу местности, климатическим условиям и среды эксплуатации объекта. Сформулируем основные положения этого направления:

1. Все части зданий должны быть защищены от атмосферной, грунтовой, производственной и эксплуатационной влаги. Это достигается:

а) отводом атмосферных осадков от здания посредством планировки участка, устройства отмостки, отливом (цокольных, подоконных и т.д.), обеспечением герметичности покрытия;

б) устройством фундаментной и цокольной гидроизоляции и др. мер, отсекающих здание от грунтовой сырости – проектирование помещений с повышенной влажностью из долговечных материалов с соответствующей защитой.

Таблица 5.1 – Дефекты роста древесины

№ п.п.	Вид порока древесины	Допускаемые значения для элементов		
		1 категория (растянутые изгибаемые)	2 категория (сжатые)	3 категория (настилы, обрешотка)
1	Гниль	-	-	-
2	Червоточина	-	-	коред
3	Сучки здоровые, сумма размеров всех сучков должна быть не более: – в пиломатериалах на длине 20 см; – в бревнах (в диаметрах бревна); – вне зоны соединения; – в зоне соединения; – в пиломатериалах в зоне соединения размер каждого сучка без выхода на ребро должен быть не более	40% грани 75% 25% 20%  17% стороны	30% грани 100% 30% 25%  25% стороны	50% ширины пласта - - - -
4	Сучки не сросшиеся, загнившие (рыхлые), гнилые (табачные): – диаметр сучка не более, мм; – число сучков на 1 м не более, шт.	- - -	20 1	50 1
5	Сучки-пасынки	-	-	-
6	Косослой на 1 м длины не более, см	7	10	15
7	Трещины вне зон соединений не более	25% длины	25% длины	-
8	Трещины в плоскостях скалывания в зоне соединения	-	-	-
9	Сердцевина пиломатериалов толщиной 60 мм	-	-	-
Примечание. Пороки, не указанные в табл., но влияющие на прочность не допускаются				

2. Ограждающие конструкции должны быть предохранены от переохлаждения, промерзания и конденсата по толщине и на поверхности. Для этого необходимо:

а) выполнить теплотехнический расчет на паропроницаемость и теплосопротивление и реализовать конструктивные требования – в слоистых системах материалы следует располагать от поверхности с более высокой температурой по мере уменьшения теплосопротивления;

б) слой материала пароизоляции следует располагать со стороны воздуха с большим влагосодержанием;

в) обеспечить сохранность торцов деревянных элементов контактирующих с другим материалом (кирпич, бетон) используя местное антисептирование, термодроизоляционные прокладки (просмоленный войлок, пакля, обернутый рубероидом или пергаментом минеральный войлок).

3. В процессе эксплуатации следует обеспечить систематическую просушку частей здания, используя естественные или принудительные процессы.

4. Предусмотреть дополнительную защиту из химических компонентов.

Дефекты при изготовлении ДК. Недостаточная квалификация рабочих, особенно у плотников, приводит к появлению большого количества дефектов деревянных конструкций. Произвольно меняются сечения деревянных элементов, шаг балок перекрытий и стропильных ног. Много ошибок при возведении деревянных конструкций встречается в исполнении узлов и сопряжений. Часто производят неэквивалентную замену сечений деревянных элементов, при отсутствии предусмотренных проектом сечений пиломатериалов и бревен.

При производстве работ не всегда осуществляется защита от влаги в месте контакта древесины с кирпичной кладкой, бетоном и стальными конструкциями.

ми, где может образоваться конденсат. Не всегда в должной мере выполняется защита деревянных конструкций от биоповреждений и огня. Нельзя допускать в процессе строительства увлажнение атмосферными водами деревянных конструкций, в особенности совмещенных покрытий с утеплителем.

Приемка, хранение и использование материалов из дерева регламентируется соответствующими НТД. Кроме того, следует учитывать следующие правила:

1. Материалы (полуфабрикаты), пораженные домовым грибом (с деструктивной гнилью и грибницей), не должны приниматься на склад и подлежат уничтожению.

2. Лесоматериалы, поврежденные лесными грибами (коррозионной гнилью) или различными плесневидными грибами, окрашивающими древесину (синевы, кофейная гуцца, краснина и др.) без заметной утраты механических характеристик могут быть использованы:

– в хозяйственных и временных постройках, для вспомогательных работ;

– для конструкций (в крайнем случае) с устойчивым сухим режимом эксплуатации (пустотные перегородки, стропила, подшивка без утеплителя и т.д.) после дополнительной обработки;

– после антисептирования 3-процентным раствором фтористого натрия (за 2 раза) и последующей сушки.

3. Складирование выполнять: на прокладки через ряд (длительное хранение); через 2-3 ряда (до 15 дней); на подкладки навалом (до 3 дней).

4. Не хранить материалы со льдом или снегом.

5. Содержать строительную площадку в состоянии, предохраняющем древесину от грибковой инфекции.

6. Производство работ вести в такой последовательности, чтобы избежать переувлажнения монтажной влагой. Например – установку деревянных перегородок и их оштукатуривание производить только после устройства покрытия (перекрытия).

Дефекты деревянных конструкций, вызываемые нарушением правил эксплуатации зданий. Главным дефектом ДК, который появляется в результате нарушения правил эксплуатации здания, связан с ухудшением температурно-влажностного режима в помещениях, приводящего к повышению влажности древесины, является поражение древесины домовыми грибами.

Несвоевременный или некачественный ремонт кровель, водосточных труб, санитарно-технических систем приводит к длительному увлажнению деревянных конструкций при отсутствии должного воздухообмена.

При повышении влажности древесины свыше 20%, появлении в древесине воды в капельно-жидком состоянии и положительной температуре воздуха начинают развиваться домовые грибы.

Отсутствие должного освидетельствования деревянных конструкций и своевременного устранения выявленных дефектов является основной причиной недолговечности деревянных конструкций. В то же время, практика эксплуатации зданий показала, что в нормальных условиях деревянные конструкции могут существовать сотни лет без снижения эксплуатационных свойств.

Эксплуатационная профилактика состоит из двух этапов – приемки построенного объекта в эксплуатацию и соблюдение и контроль правил эксплуатации.

При приемке объекта в эксплуатацию следует:

– удостовериться в точном и качественном исполнении проектного решения (акты на скрытые работы, фактическое исполнение, контрольные вскрытия и т.д.);

– проверить влажность древесины в конструкциях (с открытыми и закрытыми поверхностями);

– проверить наличие условий появления грибковых заболеваний и самих грибов.

В процессе эксплуатации необходимо:

– постоянно поддерживать в исправном состоянии все элементы здания, предохраняющие деревянные конструкции от увлажнения;

– создать систему раннего обнаружения процесса загнивания или появления условий ему сопутствующего и своевременное устранение появившегося дефекта.

## **5.2 Методика сбора информации о состоянии объекта**

Обследование зданий – один из наиболее сложных видов строительной деятельности. Для зданий старше 30-40 лет практически ни один вид серьезных ремонтных работ не может быть нормально выполнен без предварительного обследования.

Комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих эксплуатационное состояние, пригодность и работоспособность объектов обследования и определяющих возможность дальнейшей эксплуатации или необходимость восстановления и усиления и необходимо проводить при:

- наличии дефектов (т.е. несоответствия конструкций какому-либо параметру, установленному проектом или нормативным документом СНиП, ГОСТ, ТУ, СН и т.д.) и повреждений конструкций, которые могут снизить прочностные, деформативные характеристики конструкций и ухудшить эксплуатационное состояние здания в целом;

- увеличении эксплуатационных нагрузок и воздействий на конструкции при перепланировке, модернизации и увеличении этажности здания;

- реконструкции зданий даже в случаях, не сопровождающихся увеличением нагрузок;

- выявлении отступлений от проекта, снижающих несущую способность и эксплуатационные качества конструкций;

- отсутствии проектно-технической и исполнительной документации;

- изменении функционального назначения зданий и сооружений;

- возобновлении прерванного строительства объекта при отсутствии консервации или по истечении трех лет после прекращения строительства при выполнении консервации;

- деформации грунтовых оснований;

- необходимости контроля и оценки состояния конструкций зданий, расположенных вблизи от вновь строящихся сооружений;

- необходимости оценки состояния строительных конструкций, подвергшихся воздействию пожара, стихийных бедствий природного характера или техногенных аварий;

- необходимости определения пригодности производственных и общественных зданий для нормальной эксплуатации, а также жилых зданий для проживания в них.

Обследование строительных конструкций зданий и сооружений проводится, как правило, в несколько связанных между собой этапов: подготовка к проведению обследования; предварительное (визуальное) обследование; детальное (инструментальное) обследование; расчеты строительных конструкций;

заключение о техническом состоянии с выдачей рекомендаций по дальнейшей эксплуатации и разработкой вариантов усиления.

Состав работ и последовательность действий по обследованию конструкций независимо от материала, из которого они изготовлены, на каждом этапе предусматривает:

- подготовительные работы: ознакомление с объектом обследования, его объемно – планировочным и конструктивным решением, материалами ИГИ;
- подбор и анализ имеющейся проектно-технической документации;
- составление программы работ на основе полученного от заказчика технического задания. Техническое задание разрабатывается заказчиком и (или) проектной организацией.

Предварительное (визуальное) обследование включает: сплошное визуальное обследование конструкций зданий и выявление дефектов и повреждений по внешним признакам с необходимыми замерами и их фиксации.

Детальное (инструментальное) обследование включает:

- работы по обмеру необходимых геометрических параметров зданий, конструкций и узлов, в том числе с применением геодезических приборов;
- инструментальное определение параметров дефектов и повреждений;
- определение фактических прочностных характеристик материалов основных несущих конструкций и их элементов;
- измерение параметров эксплуатационной среды внутри объекта;
- определение реальных нагрузок, прямых и косвенных воздействий;
- определение фактической расчетной схемы конструкций;
- расчет несущей способности конструкций по результатам обследования;
- анализ результатов обследования и расчета;
- анализ причин появления дефектов и повреждений в конструкциях;
- составление итогового документа (акта, заключения) с выводами;
- разработка рекомендаций по обеспечению прочности и деформативности СК.

Некоторые из перечисленных работ могут не включаться в программу обследования в зависимости от специфики объекта обследования, его состояния и задач, определенных техническим заданием.

Обследование отдельных конструкций – плит перекрытий, колонн, стропил обычно производится для выяснения их несущей способности путем идентификации и проверочных расчетов конструкций и бывает вызвано следующими причинами:

1) планируется увеличение нагрузки на перекрытие при изменении функционального назначения помещения, изменении характеристик оборудования, модернизации производства;

2) планируется перепланировка помещений;

3) замечен рост деформаций (увеличение прогиба плит перекрытий, трещин в стеновых панелях и т.п.), несущая способность конструкций неизвестна (неизвестно и под какую нагрузку проектировалась конструкция);

4) подошло время для замены конструкций (сгнивших деревянных конструкций перекрытий в зданиях исторической застройки);

5) в здании наблюдаются систематические протечки кровли или разгерметизация стен, промокание стен, промораживание стен.

Систематический технический надзор за работой деревянных конструкций особенно важен в первые годы их работы. Производится обследование деревянных конструкций два раза в год: осенью – для выяснения влияния летней

усушки и весной – после окончания действия снеговой нагрузки для определения связанных с этим расстройств конструкции.

Обследование несущих конструкций рекомендуется сопровождать измерением развития упругих и остаточных деформаций в течение одного цикла действия нагрузки (например, снеговой), наблюдениями за состоянием: материала, развитием трещин в ответственных соединениях конструкций, правильным раскреплением конструкций в пространстве. Наиболее показательные результаты дают измерения общих деформаций – прогибов, отклонений из плоскости системы, выпучиваний сжатых элементов. Во время периодических обследований следует производить нивелировку нижнего пояса несущих конструкций и вычерчивать кривые прогибов их под нагрузкой, измерять отклонение конструкций от их проектного положения, а также стрелки выгибав сжатых элементов в долях их длины.

Обследование ограждающих конструкций необходимо начинать с наиболее опасных в отношении загнивания мест. К ним относятся: участки покрытий и перекрытий, расположенных в местах зданий с наибольшим выделением влаги и парообразованием; настилы, являющиеся основанием рулонного ковра кровли; нижние обвязки каркасных и нижние венцы рубленых стен; цокольные части стен и фонарных надстроек; заделанные в стены концы балок и прогонов; боковые поверхности балок и прогонов при укладке пароизоляции корытом и т.п. При обследовании обращают внимание на прогибы балок и прогонов, настилов и подшивок, на крепление их к балкам и прогонам и др.

При обследовании деревянных частей зданий следует проводить:

- выявление участков деревянных частей объекта с видимыми дефектами или повреждениями, потерей устойчивости и прогибами, раскрытием трещин в деревянных элементах, биологическим, огневым, коррозионным поражениями;

- выявление участков деревянных конструкций с недопустимыми атмосферными, конденсационными и техническими увлажнениями;

- определение схемы и параметров внешних воздействий на деревянные части зданий, фактически действующих нагрузок с учетом собственного веса, расчетных схем и геометрических размеров – пролетов, сечений, условий опирания и закрепления деревянных конструкций;

- определение состояния узлов сопряжения деревянных элементов;

- определение прочностных и физико-механических характеристик древесины;

- определение температурно-влажностного режима эксплуатации конструкций;

- определение наличия и состояния материалов защиты деревянных частей конструкций и их элементов.

Конструкции деревянных перегородок следует определять внешним осмотром, а также простукиванием, высверливанием, пробивкой отверстий и вскрытием в отдельных местах.

Расположение стальных деталей крепления и каркаса перегородок следует определять по проекту и уточнять металлоискателем.

При обследовании деревянных перекрытий необходимо:

- разобрать конструкцию пола на площади, обеспечивающей обмер не менее двух балок и заполнений между ними по длине на 0,5-1 м, расчистив засыпку, обмазку и пазы наката деревянных перекрытий для тщательного осмотра примыкания наката к несущим конструкциям перекрытия;

- определить качество древесины балок и материалов заполнения механическим зондированием, взятием проб и образцов для лабораторного анализа;

- установить границы повреждения древесины;
- снять штукатурку со стальных балок для определения степени коррозии, определить сечения и шаг несущих конструкций.

Дефекты и повреждения ДК определяются следующими способами:

- осмотр с необходимым раскрытием для выявления фактического состояния деревянных конструкций и обмера деревянных конструкций;
- измерение основных параметров деформаций несущих ДК (прогибов, относительных смещений узлов, искривление сжатых элементов, углов наклона сечений, смещение податливых соединений, трещин, скалывания, смятия, зазоры и неплотность в соединениях, износ настилов);
- изучение температурно-влажностных условий эксплуатации ДК;
- отбор из деревянных конструкций образцов для лабораторного исследования физико-механических свойств древесины, её влажности, прочности склеенных соединений, определение вида вредителя, качества антисептирования.

Для определения вида повреждений и активности процесса разрушения образцов древесины необходимо провести анализ в микробиологической лаборатории.

Образцы выбирают из наиболее поврежденных участков. В одном образце должна быть представлена как здоровая, так и поврежденная древесина (на границе перехода). При наличии внешних грибковых образований образец берется вместе с ним. Размер образцов рекомендуется принимать 15x10x5 см (для досок – 15x5x2 см). По каждому зданию (сооружению) нужно отбирать не менее трех образцов с трех отдельных участков раскрытия.

Влажность древесины устанавливается электронным влагомером. Образцы для механических лабораторных испытаний надо отбирать из элементов, в которых произошло разрушение, или из несущих элементов. Количество образцов для механических испытаний принимают не менее шести.

Для сокращения объемов раскрытия при обследовании спрятанных деревянных конструкций рекомендуется использовать метод эндоскопии. Рациональными областями использования эндоскопии для исследования деревянных конструкций являются:

- обследование состояния спрятанных и труднодоступных деревянных конструкций и их элементов;
- обследование деревянных конструкций и элементов, которые при этом должны по возможности оставаться без повреждений.

Если произведенный осмотр и расчетная проверка состояния конструкции дадут основание оценить его как угрожающее, необходимо немедленно принять меры в разгрузке конструкций и усилить ее временными креплениями для предотвращения дальнейшего нарастания деформаций и обрушения.

### **5.3 Характерные виды дефектов и повреждений**

Наиболее характерными видами дефектов и повреждений ДК являются:

- влажное состояние (или периодическое увлажнение) древесины, которое превышает допустимое значение и изменение естественной окраски древесины;
- недопустимые деформации конструкций и их элементов;
- повреждение ДК биовредителями, домовыми грибами (настоящим, плесочным, белым) и жуками – древоточильщиками (усатым черным, мебельным точильщиком и др);
- коррозия металлических деталей;

- трещины и расслоения клееных деревянных конструкций;
- разрушения от действия химических агрессивных сред (увеличения объема кристаллов соли внутри древесины при действии кислот и щелочей).

### ***Условия и процессы разрушения древесины дереворазрушающими грибами***

Грибы делят на две группы по способу добывания органических веществ для питания: паразиты и сапрофиты. Грибы-паразиты развиваются на живых растениях, грибы-сапрофиты развиваются на мертвой древесине или остатках растительности.

Пищей для грибов является клетчатка древесины (целлюлоза 40-50%, гемицеллюлоза 13...28%, лигнин 18...30%) и вещества, находящиеся в полости клеток. Грибы-паразиты, растущие на живой древесине, вызывают коррозионную и ячеистую (ситовитую) гниль. Ее признаки – мелкие пустоты, часто с белыми пятнами обесцвеченной клетчатки, внутреннее расслоение древесины по годовым кольцам. На мертвой древесине (в конструкциях) такие грибы не развиваются.

Практическую ценность представляет знание условий, способствующих появлению грибов, их влияние на древесину и места появления. Появление грибов связано с попаданием спор на здоровую древесину, с наличием гиф (грибковых волокон) в заболонных слоях древесины, контакта с зараженной землей или древесиной, имеющих живую грибницу (воздушный мицелий грибицы).

Большое количество спор дает рождение грибнице, а разветвленные клеточные нити (жгуты), развиваясь выделяют ферменты разрыхляющие древесину. Развитие гриба возможно только при наличии определенных условий: а именно – температуры и влажности. Так грибница развивается в интервале температур – 4 °С до + 22-35 °С. Споры к низким температурам малочувствительны и погибают при  $t = -20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$  и при  $t \geq + 80^{\circ}\text{C}$ .

Наиболее благоприятная для развития гриба влажность находится в пределах насыщения волокон от 30 % до 50...70%. В полусухой древесине (влажность  $RH \leq 25\%$ ) грибы развиваются с трудом, а в сухой ( $RH \leq 18...20\%$ ) – нет. Грибы не развиваются в воде и на сквозняке.

Застой воздуха не обеспечивает высыхания древесины. Попадание влаги конденсата на поверхность древесины не представляет опасности, но накопление влаги в незаполненных слоях и соединениях в течение одного сезона приводит к образованию гнили.

Влажность древесины может меняться: от подсоса влаги с нижних конструкций; от намочания дождевой водой сверху; от влажности воздуха. Это связано: с плохой защитой от увлажнения; некачественной термо- и пароизоляцией; отсутствием вентиляции, способствующей просушке древесины; неудовлетворительной защитой от гниения.

В зданиях это проявляется на следующих участках:

- подполья на сыром грунте и необитаемые подвалы;
- неантисептированные концы балок в каменных стенах;
- накаты перекрытий при неисправных крышах;
- деревянные перегородки из сырого леса;
- деревянные перегородки, оштукатуренные с двух сторон;
- полы, накаты, балки под санузлами и кухнями при повышенной влажности;
- деревянные конструкции, увлажняемые и плохо проветриваемые.

Следует особо сказать о грибах типа «плесневые» (Кладоспориум – серовато-синий окрас, Синева – синий окрас, Графиум – бурый и коричневый окрас, Аспергиллюс Нитер – от серого до черного, Пелициллиум – красновато-розовый, Хлороспелиум – зеленый), дающих на древесине цветные, тонкие, порошистые налеты.

Грибы питаются содержимым клеток, не разрушая структуру, а лишь окрашивая древесину заболони. Не влияя на прочность древесины, они являются предупреждением о наличии условий для развития более опасных грибов.

Каждому виду грибка присущи свои признаки, окраска, условия развития и разрушения древесины. Характеристика некоторых из них дана в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Характеристика разрушающих древесину грибов

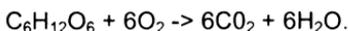
Наименования	Характеристика	Примечание
Домовой гриб, настоящий	Зарождается ( $t = 18-22^{\circ}\text{C}$ и $\text{RH} = 28-30\%$ ), развивается ( $t \geq 3^{\circ}\text{C}$ и $\text{RH} = 20\%$ ), далее грибок сам выделяет влагу при дыхании. В начальной стадии желтеет, затем коричневеет. Появляется в домах, на складах (реже)	Снижает прочность, зараженная часть удаляется.
Домовой гриб, белый	Зарождается ( $t = 12-17^{\circ}\text{C}$ и $\text{RH} = 25-30\%$ ), в начальной стадии образуется белоснежная грибница, разрушая древесину, образует продольные и поперечные трещины, окрас дерева бурый до буро-коричневого	Снижает прочность, зараженная часть удаляется.
Домовой гриб, коричневый	Развивается при $\text{RH} = 45-60\%$ , в начальной стадии образуется светло-желтая, затем коричневая до черной пораженная древесина того же цвета, хрупкая, распадается хрупко на мелкие призмочки	Снижает прочность, зараженная часть удаляется.
Шахтный гриб	Развивается в сырых и темных местах (складах), на хвойной древесине, придавая древесине золотистый, затем бурый оттенок, которая распадается на призматические кусочки	Снижает прочность, зараженная часть удаляется.
Столбовой гриб	Развивается на столбах, сваях, кругляке, окрас от золотисто-войлочного до ржаво-бурого, образует деструктивную гниль	Снижает прочность, зараженная часть удаляется.
Последовательность развития: споры – гифы – мицелия (спора – плодовое тело, гиф – нить ( $b = 4-5 \text{ мк}$ ), мицелия – скопления пленок и шнуров, т.е. сплетение гиф).		

**Условия и процессы разрушения древесины гниением.** Биохимический процесс развития деструктивной гнили можно разбить на два этапа, отличающиеся тем, что началу процесса способствует избыток влаги в древесине, а на втором этапе эта влага появляется в результате реакции.

На первом этапе идет асахаривание целлюлозы кислыми ферментами, выделяемыми клетками, с получением водорастворимой глюкозы:



На втором этапе происходит окисление глюкозы в результате жизнедеятельности гриба:



Грибы (сапрофиты), растущие на мертвой древесине, вызывают деструктивную гниль (крупнопризматическая, среднепризматическая, мелкопризматическая), которая характеризуется образованием продольных и поперечных трещин.

Разновидности гнили древесины и её влияние на прочность см. табл. 5.3, а значения параметров, ограничивающих развитие гниения, см. в табл. 5.4.

Таблица 5.3 – Разновидности гнили древесины и ее влияние на прочность

Наименование	Характеристика	Результат влияния
Гниль трухлявая	Вызывается сумчатым грибом при длительном хранении, поражается наружный слой, начинается в пустотах, кавернах, имеет бурый цвет различных оттенков	Снижается прочность
Гниль разрушительная	Разрушение целлюлозы с повреждением стенок клеточной структуры, с образованием горизонтальных и тангенсальных трещин, с делением структуры на кубики, имеет коричневый цвет	Снижается прочность. Рекомендуется удалять
Гниль коррозийная	Разрушается в основном ментвин, который играет роль клея для несущего целлюлозного каркаса	Снижается прочность
Ядровая гниль	Определяется в торце по внешнему виду (пестрый ситовый, бурый трещиноватый или волокнистый)	Снижается прочность
Гниль заболонная	Развивается с торцов и по боковой поверхности из-за неправильного хранения, имеет цвет пестрый (у лиственных пород) и желтоватый или розовато-бурый (у хвойных)	Снижается прочность

Таблица 5.4 – Значения параметров, ограничивающих развитие гниения

№ п/п	Характеристики среды эксплуатации конструкций	Максимально допустимая влажность древесины, %	
		Клеевой	Неклеевой
1	Внутри отапливаемых помещений при $t \leq 35^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха: - до 60% - более 60% до 75% - от 75% до 95%	9	20
		12	20
		15	20
2	Внутри неотапливаемых помещений: - в сухой зоне - в нормальной зоне - в сухой и нормальной зонах с постоянной влажностью в помещении более 75% - во влажной зоне	9	20
		12	20
		15	25
		15	25
3	На открытом воздухе: - в сухой зоне - в нормальной зоне - во влажной зоне	9	20
		12	25
		15	25
4	В частях зданий и сооружений: - соприкасающиеся с грунтом - находящиеся в грунте - постоянно увлажняемые - находящиеся в воде	-	25
		-	25
		-	100
		-	100

### Разрушение древесины энтомологическими вредителями.

Энтомологические вредители древесины – это различные насекомые, живущие в живой и мертвой древесине. Для ряда насекомых древесина – это пища, дом и место размножения. Из четырех стадий их развития – генерация (яйцо, личинка, куколка, насекомое) древесина разрушается на двух: личинка использует древесину как корм; насекомое, выбираясь из древесины, прогрызает отверстие.

Разрушение древесины насекомыми характеризуется червоточинной (ходы и отверстия в древесине). Может быть червоточина поверхностная (глубиной не более 3 мм), неглубокая (менее 15 мм), глубокая (более 15 мм), сквозная, не крупная (диаметром менее 3 мм), крупная (более 3 мм). Только поверхностная червоточина не снижает прочность.

В таблице 5.5 приведена характеристика распространенных в республике вредителей. В течение года происходит одна генерация, а при благоприятных условиях – две генерации.

Разрушения встречаются чаще:

- в старых зданиях: на опорных участках, заделанных в каменные стены (совместное действие домовых грибов и жуков-точильщиков); в пролете балок (результат совместного гнездового поражения грибом и жуком);

- поражение паркета (жук древогрыз) из лиственных пород при плохом хранении.

Таблица 5.5 – Диагностические признаки жуков-вредителей мертвой древесины

Характеристика	Вид	Точильщики		Домовой усац черный (серый)	Долгоносик трухлявый	Древогрыз
		Мебельный	Домовой			
1. Длина, цвет		до 3-4 мм темно-бурый	4-5 мм черно-бурый	10-20 мм смоляно-черный	3-3,5 мм темно-коричневый	2,5-4,5 мм темно-коричневый
2. Летные отверстия		круглое 1...2 мм	круглое 2...3,5 мм	овальное 6...8 мм	круглое 1...2 мм	круглое 1...1,5 мм
3. Личинки		белые, 6 ножек	белые, 6 ножек	белые, 6 ножек	белые, безногие	белые, подковообразные
4. Разрушения: - ленточные ходы  - глубина разрушения  - вид древесины		вдоль волокна, забиты бурой мукой	вдоль волокон, забиты бурой мукой	вдоль волокна, забиты бурой мукой	перепутаны, в труху с бурой мукой	перепутаны, забиты бурой мукой
		до 40 мм	до 50 мм	до 40 мм и более	до 50 мм	до 20 мм
		в сухой, в мебели, резе в СК с RH = 10...30% при t = 25...28°C	в сухой с периодическим увлажнением, чаще; в хвойных породах, в конструкциях, резе в мебели с RH = 10...30% при t = 25...28°C	в сухой хвойной, в мебели, в СК с RH = 5...15% при t = 20...30°C	в постоянно влажной хвойной, в СК из хвойных пород; в старых зданиях – кухнях, туалетах с RH > 50% при t = 18...20°C	в изделиях из лиственных пород ослабленных гниением с RH = 10...40% при t = 20...30°C

**Дефекты деревянных конструкций, вызываемые огнем при пожаре.** При огневом воздействии во время пожара деревянные конструкции получают различные повреждения вплоть до полного разрушения. При продолжительном пожаре деревянные конструкции, даже покрытые антипиренами, полностью превращаются в уголь или сгорают.

Сопротивление древесины непосредственному воздействию огня довольно высоко, особенно если этому воздействию подвергаются элементы крупных поперечных сечений, удаленные друг от друга. Близко расположенные горящие элементы способствуют большому и быстрому подъему их температуры за счет излучения тепла. При пожаре отрицательное влияние оказывают разного рода щели и трещины в деревянных конструкциях. Выделяющиеся из древесины горячие газы воспламеняются от соприкосновения с открытым пламенем при температуре 215-216 °С. При этом происходит движение продуктов горения из толщи древесины наружу к кислороду воздуха. Сгорание газов происходит вне зажженной древесины. При достижении древесины температуры около 280°C газообразование становится очень интенсивным, а сам процесс – экзотермическим.

Для ДК представляет опасность не только непосредственное соприкосновение с огнем, но и другие формы нагрева, особенно при длительном воздей-

ствии. При нагреве лучеиспусканием древесина может достигнуть температуры интенсивного экзотермического разложения и при этом может произойти самовозгорание выделяющихся из древесины газов. В результате происходящей при этом сухой перегонки древесины происходит значительное снижение ее прочности.

Меры, принимаемые для уменьшения пожароопасности древесины, могут быть разделены на две группы: конструктивные и химические.

К конструктивным мерам относятся: применение деревянных элементов большого сечения; устранение пустот в деревянных конструкциях; устройство брандмауэров, уменьшающих протяженность ДК; покрытие деревянных элементов разного рода ограждениями, затрудняющими доступ к ним воздуха, защищающими от нагрева лучеиспусканием и попадания искр на древесину (асбоцементные плиты, минераловатные плиты, облицовка кровельной сталью, штукатурка и др.).

К химическим мерам, снижающим пожароопасность деревянных конструкций, относится применение разного рода антипиренов.

**Дефекты клееных деревянных конструкций.** Клееные деревянные конструкции – это монолитная совокупность деревянных деталей определенных параметров и взаиморасположения, соединенных клеевой прослойкой, предназначенных для выполнения несущих, ограждающих и/или эстетических (декоративных) функций в строительных изделиях и конструкциях.

В Европе клеить древесину начали примерно в те же годы, что и в России. Сегодня объемы производства этого материала составляют в Европе около 1300 тыс. куб. м, в Германии – 1 млн куб. м, в Северной Америке – 800 тыс. куб. м, в бедной лесами Японии – 500 тысяч куб. м, России – 280 тысяч куб. м в год.

Начало массовому производству КДК в СССР было положено в 1973 г., но первые исследования и даже применение КДК при строительстве некоторых объектов началось с 1942 г. Клееная древесина широко использовалась при строительстве зданий сельскохозяйственного назначения, складов минеральных удобрений, общественных зданий. Например, срок службы стальной конструкции склада минеральных удобрений не превышает 10 лет. Совмещение высокой химстойкости древесины с высокой прочностью при малом весе обеспечивает КДК эффективность в данной области. В 80-е годы было построено много большепролетных спортивных сооружений. Это такие здания, как каток в Архангельске (пролет – 60 м), каток в Твери (пролет – 55 м), а также несколько спортивных манежей и залов в РБ. Сегодня в строительстве используются все основные виды конструкции с применением клееной древесины: арки, балки, рамы, фермы и т. д.

Надежная длительная работа клееных ДК в значительной мере зависит от правильной их эксплуатации, соблюдения принятых проектом условий эксплуатации. К ним относятся действующие на конструкцию нагрузки и температурно-влажностные условия окружающей среды. Соблюдение нормальных условий эксплуатации не устраняет неизбежных изменений состояния клееных ДК, за развитием которых нужно следить и своевременно принимать надлежащие меры. Так, например, с течением времени происходит зависящая от влажности усушка лесоматериала; при этом развиваются трещины, которые могут появиться в опасных для целостности конструкций местах, ослабление затяжки болтов, которые необходимо подтягивать в течение первых лет эксплуатации конструкций, коробление элементов, в особенности широких досок.

С другой стороны, замедленное высыхание влажного лесоматериала создает опасность загнивания конструкций. Эта опасность возрастает при увеличении влажности помещения сверх нормальной. Непосредственную угрозу загнивания конструкций создают протекание кровли, неисправности водоводов, недостаточность термо- и пароизоляции в ограждающих СК.

В практике эксплуатации деревянных конструкций и элементов встречаются следующие виды их дефектного состояния:

- превышение в клееных деревянных конструкциях и элементах установленных строительными нормами значений напряжений и деформаций вследствие изменения схемы их работы;
- механические повреждения клееных деревянных конструкций и элементов;
- повреждение деревянных конструкций и элементов вследствие использования для их изготовления материалов ненадлежащего качества;
- повреждения деревянных конструкций и элементов дереворазрушающими грибами, насекомыми;
- повреждения деревянных конструкций и элементов при воздействии огня и повышенной температуры, от воздействия агрессивных сред;
- повреждения деревянных конструкций и элементов вследствие неправильного учета температурно-влажностных условий эксплуатации.

Характеристика материала, наличие скрытых дефектов и повреждений, их количественная характеристика контролируются приборами:

- измерение влажности древесины по ГОСТ 16483.7 – влагомер МГ4Д, НМ8-WS25, РМ1, SH-0453 (игольчатый);
- поиск дефектов по тепловой карте инракрасным термометром (пирометр) – ИРТИС-2000 с тепловизором, акустический метод – Звук-203, ультразвуковой метод – УК-14П;
- определение степени загнивания древесины – приборы марки ПД1, ПОСД.

#### **5.4 Определение физико-механических характеристик древесины**

Принципы отбора проб. Для взятия проб из ДК (например, деревянных перекрытий) необходимо производить их вскрытие. Число мест вскрытий перекрытия по деревянным балкам должно составлять не менее трех при обследуемой площади до 100 м<sup>2</sup> и не менее 5 при большей площади. Для деревянных перекрытий по металлическим балкам эти цифры соответственно равны 2 и 4. Вскрывать должны полы (чистые и черновые), стяжки, подготовка под полы, гидроизоляция, утеплитель или звукоизоляционная засыпка, подшивка, штукатурка.

Для определения физико-механических характеристик древесины и микрoанализа из ненагруженных или слабонагруженных частей деревянных конструкций, имеющих повреждения и дефекты, эксплуатирующихся в непредусмотренных таблицах 6.1 ТКП 45-5.05-146 [8] условиях, высверливают керны или выпиливают бруски длиной 150-350 мм. Выпиленные бруски маркируются, помещаются в полиэтиленовые пакеты и отправляются для лабораторных исследований, а места отбора брусков фиксируются на схемах конструкций, которые прикладываются к актам с результатами испытаний образцов древесины. Из брусков выпиливают образцы, размеры которых устанавливают соответствующим НТД для каждого вида испытаний. Элементы деревянных конст-

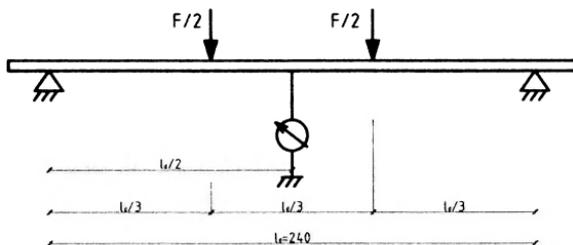
рукций, из которых выпилены бруски древесины, подлежат восстановлению или усилению.

При отборе образцов особое внимание следует обращать на опорные и стыковочные узлы деревянных конструкций по всей их длине, на места болтовых, нагельных и гвоздевых соединений и на участки контакта древесины с металлом, бетоном и кирпичной кладкой. Тщательному обследованию при отборе образцов следует подвергать стропила в местах протечек кровли, в зонах, примыкающих к слуховым окнам. Должны быть отмечены естественные и искусственные пороки древесины, механические повреждения, увлажнение, биопоражение древесины и др. Вскрытие деревянных конструкций производят в первую очередь в местах протечек: у наружных стен, на опорах балок, прогонов и ферм; в санузлах, в местах прохода коммуникаций; в перекрытиях и перегородках, разделяющих отапливаемые и неотапливаемые помещения.

### **Разрушающие методы оценки временного сопротивления**

*Определение модуля упругости и предела прочности древесины при статическом изгибе.* Для испытания изготавливаются образцы, которые имеют форму брусков размерами 20x20x300 мм, так чтобы годовые кольца на торцах были параллельны паре граней. Перед испытанием на середине длины образца измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм его ширину и высоту. При испытании образец закрепляют на неподвижных опорах радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины крепится траверса с двумя валиками с таким же радиусом, как и опора. Для измерения прогиба в зоне чистого изгиба устанавливают индикатор часового типа (рис. 5.1).

Нагрузку на образец прикладывают при постоянной скорости перемещения нагружающего элемента. Скорость должна быть такой, чтобы продолжительность нагружения образца до максимального значения нагрузки составляла не менее 2 и не более 5 минут.



**Рисунок 5.1 – Схема испытания образца**

Когда нагрузка достигнет 800 Н, плавно разгружают образец до 300 Н и снова нагружают. При последующих трех нагружениях, в момент достижения нагрузки 800 Н измеряют прогиб с точностью до 0,01 мм. Отчеты по индикатору заносят в таблицу. По полученным результатам определяют модуль упругости:

$$E_0 = \frac{23\Delta F \cdot l_d^3}{108 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta u_{cp}} \quad (5.1)$$

После циклического нагружения прикладывают ступенчатую нагрузку через 200 Н для определения временного сопротивления. В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки. После испытания определяют влажность об-

разца и фиксируют температуру в лаборатории. Временное сопротивление определяют по формуле:

$$f_i^{W,T} = \frac{F_{max} \cdot l_d}{b \cdot h^2}. \quad (5.2)$$

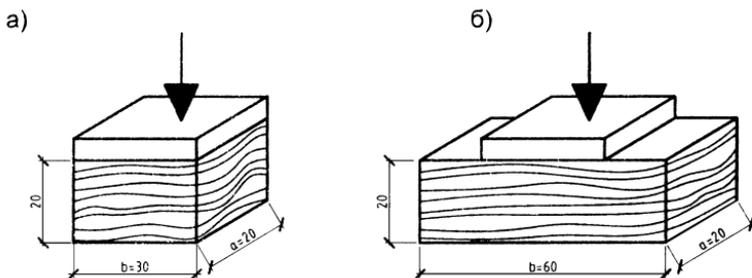
**Определение предела прочности при сжатии поперек волокон.** При действии сжимающих нагрузок поперек волокон в большинстве случаев не удается обнаружить разрушения, поэтому ограничиваются определением предела пропорциональности, который принимается за условный предел прочности.

Различают два вида испытаний на сжатие и местное сжатие поперек волокон. При первом виде нагрузка прикладывается равномерно по всей поверхности образца, а при втором – по всей ширине, но лишь по части длины.

Условный предел прочности при сжатии поперек волокон в среднем для всех пород примерно в 10 раз меньше предела прочности при сжатии вдоль волокон. Предел прочности при смятии из-за дополнительного сопротивления изгибу волокон оказывается выше, чем при сжатии по всей поверхности.

Для испытания изготавливаются образцы в виде прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм при сжатии по всей поверхности и длиной 60 мм при местном смятии (рис. 5.2).

У образца для испытания на сжатие измеряют длину  $b$  и на половине длины ширину  $a$ , с точностью до 0,1 мм. У образца для испытаний на смятие измеряют с той же точностью только его ширину  $a$ .



**Рисунок 5.2 – Испытание на сжатие (а) и местное смятие (б)**

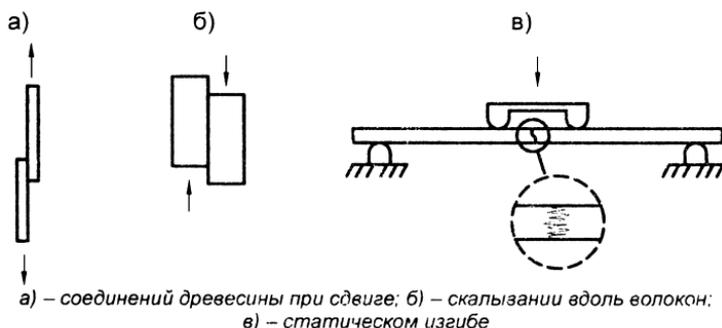
Образец нагружают со скоростью  $1 \pm 0,2$  кН/мин. Через каждые 0,2 кН для древесины мягких пород и через 0,4 Н для древесины твердых пород, не прекращая нагружения, измеряют деформацию образца. Испытания продолжают до превышения условного предела прочности, что характеризуется резким увеличением деформации. Нагрузку  $F_{max}$ , соответствующую условному пределу прочности, определяют по диаграмме сжатия поперек волокон как ординату точки, в которой отступление от линейной зависимости между нагрузкой и деформацией достигает такой величины, что тангенс угла, образованного осью нагрузок и касательной к графику  $F - \Delta U$ , увеличивается на 50% своего значения, соответствующего прямому участку графика.

**Методы оценки прочности склеивания.** Сначала необходимо отобрать или изготовить образцы. В зависимости от назначения испытаний образцы выпиливают из элементов конструкций (для определения качества клеевых соединений) или принимают из специально склеенных заготовок (при проверке новых видов клеев и разработке режимов склеивания). Для проведения испытания обычно изготавливают 10 контрольных образцов и такое же количество

образцов, подвергаемых циклическим температурно-влажностным воздействиям. Форма и размеры образцов, а также их влажность должны соответствовать стандартам.

Испытания клеевых соединений на температурно-влажностные воздействия проводят циклами. Механические испытания образцов проводят после 40 циклов температурно-влажностных воздействий. При проведении научно-исследовательских работ количество циклов может быть увеличено.

В соответствии с основными нагрузками, возникающими при эксплуатации клееной древесины, клеевые соединения чаще всего подвергают испытаниям на прочность при сдвиге, скалывании вдоль волокон древесины и статическом изгибе (рис. 5.3). Все эти испытания проводят на разрывной машине. Причем в каждом случае всегда испытывают несколько (не менее 5) образцов, а полученные результаты усредняют. Только в этом случае можно получить достаточно достоверные количественные данные и определить соответствие (или нет) прочности склеивания требованиям НТД.



**Рисунок 5.3 – Схемы действия нагрузки при испытаниях прочности клеевых соединений**

Наиболее распространенным способом испытания является определение прочности клеевого соединения при сдвиге (рис. 5.3 а). Согласно действующему в республике ТКП 45-5.05-146 [8], временное сопротивление для пиломатериалов и заготовок из них цельных и стыкованных на зубчатое соединение следует определять по испытаниям согласно старым советским стандартам ГОСТ 15613.4; ГОСТ 21554.4; ГОСТ 21554.5; ГОСТ 21554.6.

**Незрушающие методы контроля.** Особенностью диагностирования деревянных конструкций приборами от испытаний на установках являются: быстрое получение данных о внутреннем состоянии деревянных конструкций, простота обслуживания, высокая точность и разрешающая способность измерений, компактность системы, безопасность. Дефектоскопия (от лат.: *defectus* – недостаток) – комплекс методов и средств неразрушающего контроля материалов и изделий с целью обнаружения дефектов.

Диагностирование позволяет выявить поврежденные деревянные элементы и вовремя принять меры по их восстановлению. Приборы используются: при диагностике состояния деревянных построек; оценке безопасности несущих конструкций, деревянных перекрытий исторических зданий при реставрационных и ремонтно-восстановительных работах; состояния деревянных мостовых конструкций; линий электропередач; для контроля за состоянием древесины

во влажной среде (бассейны, спортивные сооружения, бани и сауны); для оценки качества деревянных строительных материалов; выявления скрытых гнилей и других повреждений древесины; выявление остаточного сечения и трещин.

Визуальный метод – невооруженный глаз, оптические приборы (лупы, диоптрийные и телевизионные трубки).

Метод эндоскопии – для исследования скрытых и труднодоступных деревянных конструкций и их элементов; обследование деревянных конструкций и элементов, которые при этом должны по возможности остаться без повреждений. Для проведения эндоскопических обследований деревянных конструкций и элементов рекомендуется использовать специальные тихходные сверлильные механизмы; набор длинных сверл разных размеров; прожекторы и лампы, в том числе люминесцентные; жесткие эндоскопы разных размеров; гибкие эндоскопы; аппараты для документирования результатов эндоскопического обследования (фотоаппарат со специальной задней стенкой, видеоманитофон, киноаппарат). Приведем в качестве примера несколько видов приборов: Resistograph – прибор для измерения сопротивления пробуриванию буровой иглой, определение плотности, остаточного сечения, участков гнили, трещин. АРБОТОМ – пространственный импульсный томограф для контроля внутреннего состояния деревянных конструкций. Micro Hydro CONDROL – влагомер древесины на глубине до 20 мм с высокой точностью в диапазоне от 4% до 85% влажности.

## 5.5. Проверочные расчеты

При проведении проверочных расчетов учитывают фактические характеристики древесины ( $f_{i,a,d}$ ). Они определяются с учетом нормативного сопротивления ( $f_{i,a,d}$ ), сортности древесины ( $c$ ), коэффициента надежности по материалу ( $\gamma_m$ ):

$$f_{i,a,d} = \frac{f_{i,a,k} \cdot c}{\gamma_m}, \quad (5.3)$$

$$f_{i,a,k} = \bar{\sigma}_{i,a} - 1.64 \cdot V. \quad (5.4)$$

Испытания для получения предела прочности ( $\sigma_{i,a,d}$ ) выполняют на чистых от пороков, дефектов и повреждений образцах материала при  $W = 12\%$ , определяют среднестатистическое значение ( $\bar{\sigma}_{i,a}$ ), среднеквадратичное отклонение ( $S_{i,a}$ ), коэффициент вариации ( $V_v$ ).

$$\bar{\sigma}_{i,a} = \sum_1^n \frac{\sigma_{i,a,d}}{n} \quad (5.5)$$

$$S = \sqrt{\frac{(\sigma_{i,a,d} - \bar{\sigma}_{i,a})^2}{n-1}} \quad (5.6)$$

$$V_v = \frac{S}{\bar{\sigma}_{i,a}} \quad (5.7)$$

Достаточность количества испытаний проверяют из условия  $n_1 \geq 6$ .

$$n_1 = 0.01 \cdot V_v^2 \cdot t_a^2 \quad (5.8)$$

Таблица 5.6 – Значения квантиля распределения Стьюдента ( $t_\alpha$ ) при доверительной вероятности, равной 0,95

$n$	4	6	8	10	12	14	16
$t_\alpha$	2,776	2,447	2,306	2,228	2,179	2,145	2,120

Если условие  $n_1 \geq 6$  не выполняется, увеличивают число испытаний на  $(n_1 - n)$ , и расчет повторяется.

Сортность древесины учитывают коэффициентом ( $c$ ), равным 1.0 (I сорт) 0.94 (II сорт) 0.65(III сорт), см. табл. 5.7.

Коэффициент надежности по материалу ( $\gamma_m$ ) принимают равным 3.8 (на изгиб), 5.5 (растяжение вдоль волокон), 2.2 (сжатие), 3.3 (скалывание вдоль волокон), 1.8 (смятие поперек волокон). Расчетные сопротивления, определенные по формуле (5.1), не должны превышать значений из табл. 5.7 [8].

При наличии данных о сроках и характере эксплуатации конструкции, породе и сорте древесины, из которой она выполнена, расчетное сопротивление на момент обследования может быть найдено по формуле:

$$f_{i.a.d}^\Phi = f_{i.a.d} \cdot a, \quad (5.9)$$

где  $f_{i.a.d}$  – расчетное сопротивление древесины конструкции согласно [8],  $a$  – относительное снижение сопротивления древесины конструкции за эквивалентное время эксплуатации под действительной нагрузкой:

$$a = 1.54 \cdot (1 - 0.0585 \cdot \ln t_i) \leq 1, \quad (5.10)$$

где  $t_i = \psi \cdot T$  – эквивалентное время эксплуатации, измеряемое в секундах;

$\psi = \frac{\sigma}{f_{i.a.k}}$  – отношение величины напряжений от эксплуатационной нагрузки  $\sigma$  к нормативному сопротивлению древесины конструкции  $f_{i.a.k}$ ;  $T$  – время эксплуатации, определяемое по формуле:

$$T = 5.28 \cdot 10^6 \cdot \Gamma \cdot c, \quad (5.11)$$

где  $\Gamma$  – срок эксплуатации конструкции к моменту обследования, лет (годы).

Расчеты выполняют с учетом фактических характеристик, нагрузок, условий эксплуатации, дефектов и повреждений согласно [8].

## 5.6. Оценка технического состояния

Оценка технического состояния выполняется согласно требованиям п. 8.3.5 [1], относя объект к одной из следующих категорий:

исправное (хорошее) – дефекты устраняются в процессе технического обслуживания;

неисправное (удовлетворительное) – дефекты устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта;

ограниченно-работоспособное (не вполне удовлетворительное) – опасность обрушения отсутствует, требуется ремонт;

нерботоспособное (неудовлетворительное) – требуется ограничение нагрузок, капитальный ремонт, усиление, частичная замена строительных конструкций;

предельное (предаварийное) – разгрузка, устройство временных опор, разборка, замена строительных конструкций.

При определении категорий следует учитывать возможность развития дефектов и повреждений во времени в строительных конструкциях из древесины.

Таблица 5.7 – Требования к пиломатериалам

Наименование пороков	Норма пороков для древесины сорта		
	I	II	III
1. Гниль	не допускаются		
2. Червоточина	не допускаются	допускается только поверхностное (короед) на обзолных частях	
3. Сучки, кроме несросшихся, загнивших (рыхлых) и гнилых (табачных), допускаются при условии, если: а) на длине 20 см (сумма размеров всех сучков на пласте и кромке вне зон соединения не более)	1/4 соответствующей стороны элемента	1/3 соответствующей стороны элемента	1/2 ширины пласта
б) в зонах соединения кроме требований п. "а", размер каждого сучка без выхода на ребро не более	1/6 стороны	1/4 элемента	
в) на кромках склеиваемых досок не более	1/3 толщины кромки	1/2 толщины кромки	
4. Сучки загнившие, несросшиеся (рыхлые) и гнилые (табачные) допускаются в элементах II и III сорта в норме п. 3 а,б,в, но при условии, если: а) размер сучка не превышает	не допускаются	20 мм	50 мм
б) количество сучков на длине 1 м	не допускаются	1 шт.	2 шт.
5. Сучки-пасынки	не допускаются	не нормируются	
6. Косослой на длине 1 м не более	7 см	10 см	15 см
7. Трещины вне зоны соединения допускаются: а) глубиной не более	1/4 толщины элемента	1/3 толщины элемента	не нормируются
б) длиной не более	1/4 длины элемента	1/4 длины элемента	не нормируются

### Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите условия, при которых неизбежно появление повреждений в ДК.
2. Перечислите виды повреждений ДК и раскройте механизм их появления.
3. Раскройте механизм повреждения ДК насекомыми.
4. При каких условиях и как происходит повреждение ДК грибами?
5. Назовите причины появления дефектов при проектировании ДК.
6. Как влияет среда эксплуатации (температура, влажность) на развитие повреждений в ДК?
7. Определите порядок работы сбора информации о состоянии ДК.
8. Как определить фактические характеристики обычной и клееной древесины?
9. Учет фактического состояния ДК при выполнении проверочного расчета.
10. Перечислите признаки наступления предельного состояния в ДК.

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 6.1. Причины появления дефектов и повреждений (с. 224-235 [21]).
- 6.2. Методика сбора информации о состоянии объекта (с. 16-32 [1]).
- 6.3. Характерные виды дефектов и повреждений (с. 50-51 [2]).
- 6.4. Определение физико-механических характеристик раствора и камня [16].
- 6.5. Проверочные расчеты (с. 11-21 [10, [16]).
- 6.6. Оценка технического состояния (с. 17-19 [1]).

### 6.1. Причины появления дефектов и повреждений

Каменная кладка – это конструкция из камней, уложенных на растворе в определенном порядке. На каменную кладку действует собственная сила тяжести, нагрузка от перекрытия, кровли, а также ветровая, снеговая нагрузки. Каменные стены служат для защиты от атмосферных явлений, выполняют звукоизоляционные функции. При строительстве зданий применяют кирпичную кладку из силикатных, керамических камней и крупных искусственных блоков, пиленых и тесаных природных камней правильной формы, неотесанных (бутовых) камней неправильной формы, смешанную, бутобетонную, облегченную из кирпича и других материалов.

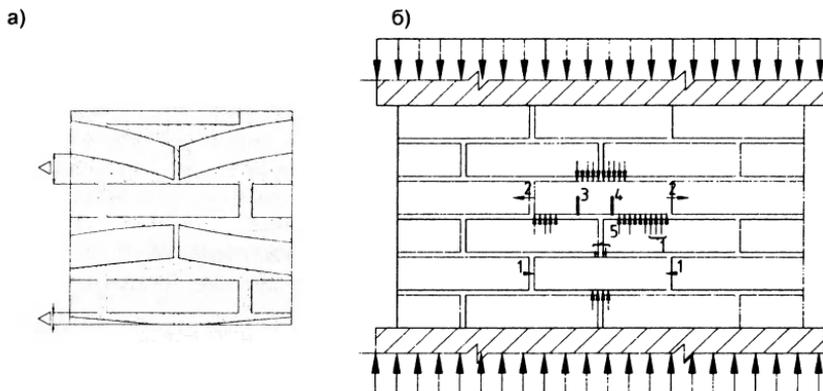
Кладка из бетонных камней используется для строительства фундаментов, стен подвалов, подземных конструкций различного назначения. Бетонные камни изготавливаются на тяжелом бетоне. Кладка из пустотелых и легкобетонных камней применяется для строительства наружных и внутренних стен зданий. Легкобетонные и пустотелые шлакобетонные камни имеют хорошие теплоизолирующие свойства. Недостаток этих камней заключается в том, что они не защищены от влаги и не морозостойки.

При использовании пустотелых и легкобетонных камней для отделки фасадов обязательно оштукатуривание. Внутри помещения можно использовать камни низкой марки, где влажность в норме. Кладка из силикатного кирпича и камней применяется для возведения наружных и внутренних стен, однако нежелательно ее применение во влажных условиях. Силикатный кирпич и камни обладают большой теплопроводностью и имеют большую плотность. Такая кладка прочнее и долговечнее, чем кладка из легкобетонных камней.

Кладка из керамических пустотелых камней применяется при возведении отапливаемых зданий. Обладает высокими тепломеханическими свойствами, что позволяет сократить толщину наружных стен примерно на полкирпича в сравнении с кладкой из силикатного или обыкновенного глиняного кирпича. Для возведения фундаментов и других подземных сооружений используют блоки из тяжелого бетона и кирпич пластического прессования. Для кладки наружных стен применяют блоки из легких бетонов, силикатного, пустотелого, пористо-пустотелого кирпича.

При обследовании и оценке технического состояния каменных и армокаменных конструкций (КК) необходимо учитывать особенности их работы и разрушения, обусловленные их структурой: кладка из мелкоштучных материалов; сложное напряженное состояние; отсутствие контроля качества кирпичной кладки (не заполнение швов, увеличивающее подвижность кладки, увеличение толщины шва > 20 мм, увлажнение кладки, снижение прочности раствора и кирпича, использование различных видов кирпича и видов кладки).

Каменная кладка является неоднородным упругопластическим телом, состоящим из камней и швов, заполненных раствором. Этим обуславливаются следующие особенности ее работы: при сжатии кладки усилие передается неравномерно вследствие местных неровностей и неодинаковой плотности отдельных участков затвердевшего раствора. В результате камни подвергаются не только сжатию, но и изгибу, срезу (см. рис. 6.1).



**Рисунок 6.1 – Формирование напряженного состояния в каменной кладке: причина (а), следствие (б)**

Появление повреждений в кладке следует классифицировать:

- деформации стен (прогибы, отклонения от вертикали);
- сколы, раковины, выбоины и другие нарушения сплошности кладки;
- увлажнение кладки стен, выветривание и вымывание раствора;
- повреждение защитных и отделочных слоев;
- разрушение несущего слоя стен и столбов.

Причинами появления дефектов и повреждений следует считать:

- ошибки проектирования (неправильный учет нагрузок, неудачное решение узлов сопряжения, потеря устойчивости из-за недостаточного количества связей, неучтенный эксцентриситет, неполная информация по инженерно-геологической оценке грунтов основания);
- низкое качество исходного материала (искривление граней камней, отклонения в размерах, низкая прочность и морозостойкость);
- качество выполнения работ (нарушение горизонтальности, толщины и правил перевязки швов, отклонения стен и столбов от вертикали, нарушение анкеровки);
- неудовлетворительные условия эксплуатации (увлажнение, агрессивное воздействие окружающей среды);
- неравномерные осадки фундаментов стен и столбов при недооценке инженерно-геологических условий, нарушение правил производства земляных работ, аварии коммунальных сетей водопровода и канализации, нарушение водоотвода от зданий и сооружений;
- отсутствие или нарушение гидроизоляции стен; отсутствие или разрушение карнизов и водосточных труб.

## 6.2. Методика сбора информации о состоянии объекта

Методика выполнения работ не отличается от общепринятой (общее и инструментальное обследование для сбора и обработки информации), а именно:

1) составляются обмерочные чертежи здания и отдельных его элементов;  
2) фиксируются, наносятся на обмерочные чертежи установленные дефекты и повреждения, включая их численные характеристики;

3) составляются ведомости дефектов с их характеристикой и сравнением в будущем с допускаемой нормами величиной. Характеристика может включать данные о происхождении (качество материалов, проектирование, изготовление); по времени появления (при строительстве, эксплуатации, стихийных или чрезвычайных условиях), по степени влияния (по снижению характеристик объекта), по виду дефекта или повреждения (защитное покрытие, основной материал) по перспективам повреждения (устраняемые, неустраняемые). Например. Характеристика степени влияния повреждения:

- незначительная – прочность кладки снижена до 5%, усиление не требуется;
- слабая – прочность кладки снижена до 15%, усиление требуется только при наличии трещин;
- средняя – прочность кладки снижена до 25%, усиление обязательно;
- сильная – прочность кладки снижена до 50%, усиление обязательно;
- аварийная – прочность кладки снижена более чем на 50%, противоаварийные меры (выбор усиления или замены);

4) определяют количественные характеристики несоответствий. Например – ширина раскрытия, глубина и состояние трещин может быть определена щупом, штангенциркулем, переносным микроскопом марки МИР-2. Глубина трещин определяется методом подсечек, зондирования дефектоскопом А 1212 МАСТЕР.

В случае возникновения трещин в каменных конструкциях, должна быть установлена динамика их развития во времени. Задача решается путем мониторинга выявленных трещин.

В отечественной практике для этой цели чаще используются гипсовые, цементно-песчаные или стеклянные маяки, реже – устанавливаются индикаторы перемещения часового типа.

В зарубежной практике обследования зданий мониторинг трещин проводится с использованием механических, индукционных, пьезоэлектрических и других датчиков. Первые из перечисленных, являющихся наиболее дешевыми и простыми, работают по принципу штангенциркуля.

При отсутствии на объекте готовых маяков их можно изготовить на месте из строительного гипса. Для этого приготавливают раствор состава 1:1 (гипс: песок) такой консистенции, чтобы при нанесении на стену он не стекал. Если кирпичные стены оштукатурены, то в местах установки маяков штукатурку сбивают, расчищают швы кладки, отчищают ее от пыли и промывают водой. Нельзя ставить маяки на неочищенную и непромытую кладку, так как из-за слабого сцепления с ней увеличение раскрытия трещин в кладке не будет зафиксировано. Гипсовые маяки делают шириной 5-6 см и длиной около 20 см. Длину маяков уточняют на месте в зависимости от характера развития трещин. Толщина маяка обычно 10-15 мм. Маяки нумеруют и пишут на них дату установки. В журнале наблюдений фиксируют: место расположения маяка, его номер,

дату установки, первоначальную ширину трещины. За состоянием маяков наблюдают (не реже одного раза в сутки), и эти наблюдения фиксируют в журнале. Если маяк разрывается, рядом с ним устанавливают новый, которому придают тот же номер с индексом. При повторной деформации (разрыве) маяков необходимо немедленно принимать меры, предупреждающие возможность неожиданных осадок или даже обрушения конструкций. Если спустя три-четыре недели после установки маяков их разрыва не последовало, значит, деформация контролируемой конструкции прекращена и можно заделывать трещины.

5) определение участков (фиксируются на схемах) отбора образцов или контроля фактических характеристик материалов приборами неразрушающего действия;

6) анализ результатов (с проверочными расчетами) и составление заключения (с рекомендациями по условиям дальнейшей эксплуатации объекта).

### **6.3. Характерные виды дефектов и повреждений**

Одним из наиболее распространенных видов повреждений построек из камня является их растрескивание. Наиболее частыми причинами, вызывающими образование трещин в каменных конструкциях, по статистике являются: неравномерные осадки оснований (65-75%); перегрузка конструкций (10-15%); температурные деформации (10-15%); влажностные деформации (5-8%); особые нагрузки и воздействия (2-5%).

За последнее десятилетие появились новые технологии кладочных работ, позволяющие при высоком качестве кладочных элементов возводить кладку на тонких растворных швах. Благодаря этому уменьшаются мостики холода, которыми являются растворные швы, снижается расход раствора (клея), увеличивается производительность труда, а прочность кладки на сжатие возрастает. Однако такие кладки имеют весьма существенные недостатки. Обладая более высокой однородностью по сравнению с кладками на обычных растворных швах, она по своим свойствам приближается к неармированному бетону (в случае применения в качестве кладочных элементов полнотелых блоков из газосиликата, пенобетона или керамзитобетона). Ситуация усугубляется, когда кладка возводится из пустотных щелевых камней, особенно керамических с высоким (50% и выше) объемом пустот.

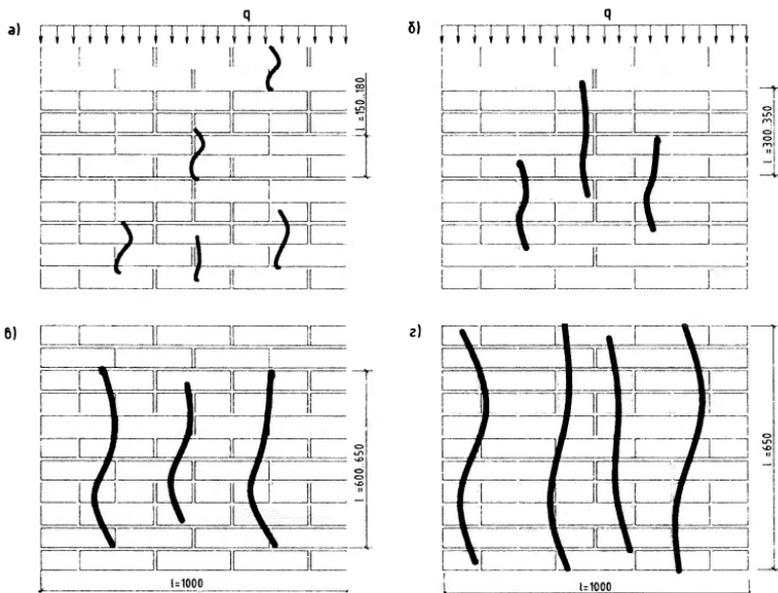
Высокотехнологичные, экономичные и эффективные с точки зрения тепловых и акустических свойств, стеновые конструкции с применением данных кладок, к сожалению, имеют низкую трещиностойкость, а в случае использования их в качестве наружного стенового заполнения каркасных зданий – высокую чувствительность к перекосам.

Открытие, длина и количество трещин могут служить для предварительной оценки уровня напряжений в кладке (см. рис. 6.2).

Износ каменных конструкций в процессе эксплуатации вызван коррозией, которую можно разделить на физическую, химическую и биологическую.

Физическая модель разрушения связывается с наличием пор, пустот, капилляров, микротрещин, которые заполняются влагой.

При замораживании и особенно при оттаивании вода увеличивается в объеме, вызывая значительные напряжения в структуре, а цикличность процесса – разрушение.



- а) – первая стадия:  $F_{ср} \approx (0,6 \dots 0,8)F_u$  (кладка на цементном растворе),  $F_{ср} \approx (0,5 \dots 0,7)F_u$  (кладка на сложном растворе),  $F_{ср} \approx (0,4 \dots 0,6)F_u$  (кладка на известковом растворе);  
 б) – вторая стадия ( $S_T \approx 250 \dots 300$  мм); в) – третья стадия ( $S_T \approx 200 \dots 250$  мм);  
 г) – четвертая стадия ( $S_T \approx 150 \dots 200$  мм)

**Рисунок 6.2 – Вертикальные трещины в каменных конструкциях**

Химическое воздействие определяется образованием химических растворов, как при попадании дождевой воды с растворенными агрессивными веществами, так и в результате прямой фильтрации воды.

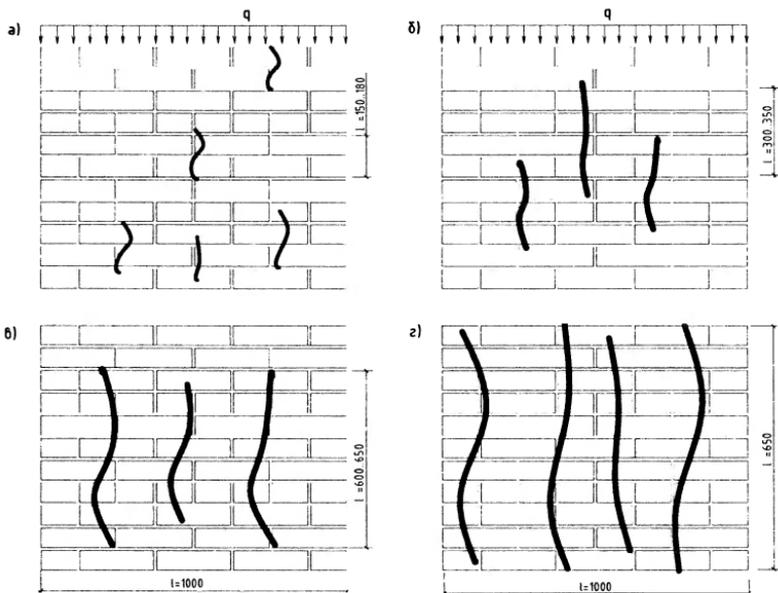
Биологическое разрушение связано с поражением различными грибами, которые проникают в структуру (до 50 мм), производя как механическое, так и химическое (выделение ферментов) воздействие.

Эти воздействия вызывают структурное разрушение материала (кирпича и раствора). Нельзя не сказать о повреждениях, которые возникают при неравномерной осадке основания и воздействия нагрузок, отличающихся от проектных по величине (см рис. 6.3.).

Характерные виды трещин, встречающиеся в стенах из кирпича, приведены на рис. 6.3.

Характеристики материала, наличие скрытых дефектов и повреждений, их количественная характеристика контролируется приборами:

- поиск дефектов ультразвуковым прозвучиванием – УКС-МГЧС, А1220;
- испытание прочности сцепления в каменной кладке – ПСО-10МГ4 КЛ, ПИК-20Р;
- определение глубины трещин и скрытых дефектов по ГОСТ 17624 – ПУЛЬСАР-1.1; А1212МАСТЕР;
- поиск скрытых дефектов кладки – термографы портативные марки IRTIS-200 (тепловизионный метод), радиолокатор «РАСКАН-3» (метод ударного импульса);



- а) – первая стадия:  $F_{ср} \approx (0,6 \dots 0,8)F_u$  (кладка на цементном растворе),  $F_{ср} \approx (0,5 \dots 0,7)F_u$  (кладка на сложном растворе),  $F_{ср} \approx (0,4 \dots 0,6)F_u$  (кладка на известковом растворе);  
 б) – вторая стадия ( $S_T \approx 250 \dots 300$  мм); в) – третья стадия ( $S_T \approx 200 \dots 250$  мм);  
 г) – четвертая стадия ( $S_T \approx 150 \dots 200$  мм)

**Рисунок 6.2 – Вертикальные трещины в каменных конструкциях**

Химическое воздействие определяется образованием химических растворов, как при попадании дождевой воды с растворенными агрессивными веществами, так и в результате прямой фильтрации воды.

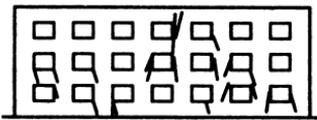
Биологическое разрушение связано с поражением различными грибами, которые проникают в структуру (до 50 мм), производя как механическое, так и химическое (выделение ферментов) воздействие.

Эти воздействия вызывают структурное разрушение материала (кирпича и раствора). Нельзя не сказать о повреждениях, которые возникают при неравномерной осадке основания и воздействия нагрузок, отличающихся от проектных по величине (см рис. 6.3.).

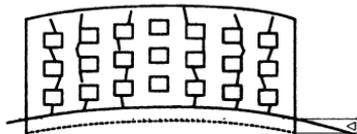
Характерные виды трещин, встречающиеся в стенах из кирпича, приведены на рис. 6.3.

Характеристики материала, наличие скрытых дефектов и повреждений, их количественная характеристика контролируется приборами:

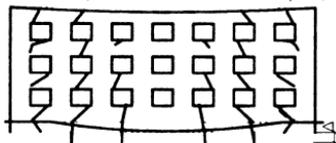
- поиск дефектов ультразвуковым прозвучиванием – УКС-МГЧС, А1220;
- испытание прочности сцепления в каменной кладке – ПСО-10МГ4 КЛ, ПИК-20Р;
- определение глубины трещин и скрытых дефектов по ГОСТ 17624 – ПУЛЬСАР-1.1; А1212МАСТЕР;
- поиск скрытых дефектов кладки – термографы портативные марки IRTIS-200 (тепловизионный метод), радиолокатор «РАСКАН-3» (метод ударного импульса);



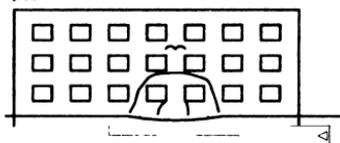
- а) вертикальные трещины в кладке нижних этажей продольных стен, по концам армированных перемычек, разрыв стен в середине здания с образованием сквозных трещин



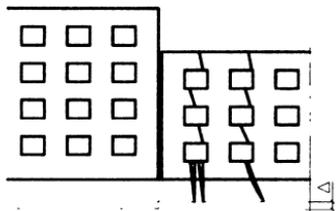
- б) V-образные вертикальные и сквозные трещины по высоте здания по сплошным и ослабленным проемами участкам (сечениям) стен с раскрытием сверху до 10 мм и более



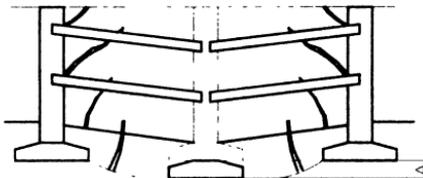
- в) вертикальные и наклонные трещины при сдвиге по высоте здания столбов и проstenков или сплошных участков, выделенных трещинами косые трещины в перемычках между проемами, трещины и сколы в ж/б перемычках и кладке в местах опирания на стены



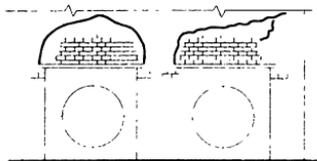
- г) сквозные трещины параболического очертания с раскрытием до 10 мм и более, отрыв и смещение проstenков и столбов нижних этажей



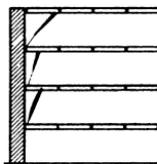
- д) вертикальные трещины 0.1-0.5 мм в проstenках расположенных вблизи места просадки фундаментов, вертикальные и косые трещины в стенах и межкожных перемычках торцовой части здания, наклоны и выпучивание стен из плоскости



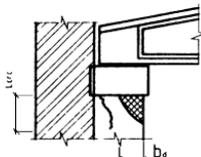
- е) наклонные трещины в каменных стенах, по телу и контуру перегородок с раскрытием до 10 мм, вертикальные и наклонные трещины в сплошных стенах, в углах и перемычных поясах проемов



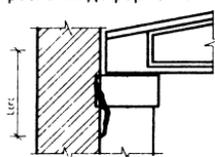
- и) местное повреждение кладки в углах и под концами балок. Образование в кладке над проемами наклонных сходящихся трещин (разгружающих сводиков)



- к) вертикальные и наклонные трещины сдвига (среза) в верхних этажах многоэтаж. зданий с раскрытием 5-10 мм в местах сопряжения разно-нагруженных стен из однородных материал. или стен из разных материал. с разными деформативными свойствами



- л) трещины, раздробления, сколы кладки под опорами балок при внецентренном сжатии или повороте концов балок при прогибе



- м) вертикальные трещины отрыва от продольной стены в верхней части пилястры

Рисунок 6.3 – Характерные виды трещин

- звукопроводность стен – шумомер Ш-60В, генератор «белого» шума ГША-1 (акустический метод);
- влажность кладки – счетные устройства СЧ-4 (нейтронный метод);
- ширина раскрытия трещин – щуп, штангенциркуль, микроскоп МИР-2;
- прогибы, перемещения – нивелиры Н-3, прогибомер ПАО-5;
- объемная деформация объекта – нивелир АА-3, теодолит Т-15.

#### 6.4. Определение физико-механических характеристик раствора и камня

Для каменных конструкций одной из важнейших характеристик, по которой производится оценка их эксплуатационной пригодности, является прочность каменной кладки при сжатии. В отечественной практике для приближенной оценки прочности кирпича и раствора в кладке при обследовании строительных конструкций чаще применяются приборы неразрушающего контроля, принцип действия которых основан на методе ударного импульса. В частности, для определения прочности раствора и строительной керамики используется измеритель прочности бетона ИПС-МГ4.01 с энергией удара 0.16 Нм. Практика обследования показала, что точность определения прочностных показателей кладочных материалов при сжатии по этой методике неудовлетворительна. Методом ударного импульса оцениваются прочностные показатели камня и раствора приповерхностных участков кладки, тогда как по толщине конструкции показатели могут существенно отличаться. Поэтому данный метод неразрушающего контроля рекомендуется использовать только для качественной оценки прочностных показателей кладочных элементов и раствора.

Для определения в натуральных условиях прочности каменных конструкций без их разрушения применяют ультразвуковые методы неразрушающего контроля. По ГОСТ 24332 для указанных целей используют, в частности, ультразвуковой прибор УКБ-1М. Зная расстояние между излучателем и приемником и время прохождения ультразвука через конструкцию, вычисляют скорость ультразвука. Прочность материала определяют по тарированным кривым для каждого вида материала.

Применение неразрушающих методов позволяет охватить большой диапазон и приблизиться к средней по величине характеристике по всему объекту. При обработке полученных результатов испытаний для кирпича и раствора кладки определяются: среднестатистическое значение прочности ( $\bar{R}$ ), среднеквадратическое отклонение ( $S$ ), коэффициент вариации ( $V$ ).

$$\bar{R} = \frac{\sum_1^n R_i}{n}; \quad S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}}; \quad V = \frac{S}{\bar{R}}. \quad (6.1)$$

При нахождении среднего значения прочности кирпича (раствора) на сжатие проверяется необходимость отбрасывания резко выделяющихся данных в следующей последовательности.

Определяется допустимое абсолютное отклонение:

$$X = 0.6745 \cdot K \cdot S, \quad (6.2)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от числа измерений ( $n$ ), определяемый по таблице 6.1.

Для промежуточных значений измерений  $n$  величина  $K$  определяется по интерполяции.

Таблица 6.1 – Численные значения К

n	4	8	14	18	22	26	30	40
К	2,29	2,76	3,12	3,26	3,38	3,47	3,55	3,70

Если величина допускаемого абсолютного отклонения ( $\chi$ ) меньше фактического  $|R_{1\max} - \bar{R}|$  или  $|R_{1\min} - \bar{R}|$ , то величина  $R_{\max}(R_{\min})$  отбрасывается.

После обработки результатов испытаний проверяется достаточность принятого объема выборки (измерений) –  $N_1=18$  по формуле:

$$N_2 = 170,7 \cdot V^2, \quad (6.3.)$$

где  $V$  – большая из величин коэффициентов вариации для кирпича или раствора кладки.

При  $N_2 > N_1$  необходимо довести количество испытаний (измерений) до числа  $N_2$  определением заново величин  $\bar{R}$  и  $V$ .

Участки, значения прочности кирпича или раствора которых при обработке результатов испытаний подлежат отбрасыванию, как явно выделяющиеся, требуют дополнительного обследования.

Прочность кладки таких участков определяют заново по рассмотренной методике.

При разрушающих методах физико-механические свойства материалов (прочность, плотность, влажность и т.п.) стен, фундаментов и перекрытия определяются испытанием образцов и проб, взятых непосредственно из тела обследуемой конструкции или близлежащих участков, если имеются доказательства идентичности применяемых на этих участках материалов.

Отбор кирпича, камней и раствора из стен и фундаментов производится из слабонагруженных (под окнами, в проемах) элементов или конструкций, подлежащих разборке и демонтажу. Отбираются целые, неповрежденные кирпичи или камни и пластинки раствора из горизонтальных швов.

Для определения прочности природных камней неправильной формы (бута) из фрагментов камней выпиливаются кубики с размером ребра 40...200 мм или высверливаются цилиндры (керны) диаметром 40...150 мм и длиной, превышающей диаметр на 10...20 мм. Отбор проб и образцов (корнов) из несущих стен, столбов и простенков производится при условии, что ослабление сечения и несущей способности рассматриваемой конструкции не превысит при этом допустимой величины.

Отбор проб для определения влажности, плотности и физико-химических характеристик материалов производится ударным способом с помощью зубила или стальных шлямбуров с внутренним диаметром 10...20 мм или высверливанием корнов электродрелью со специальными полыми насадками.

Прочность (марка) полнотелого и пустотелого глиняного обыкновенного, силикатного и трепельного кирпича определяется разрушающим способом по ГОСТ 8462 как средний результат испытаний при сжатии пяти образцов “двоек” из двух целых или их половинок, умноженный на коэффициент 1,2, и пяти образцов на изгиб (всего 10 образцов). Для испытаний на сжатие керамических, силикатных, бетонных и природных камней правильной формы опытные образцы изготавливаются из одного камня или одной его половинки.

Прочность (марка) природных камней правильной и неправильной формы, а также мелких и крупных блоков из тяжелого, силикатного, ячеистого бетонов и

бетонов на пористых заполнителях допускается определять путем испытания на сжатие образцов-кубов или цилиндров, выпиленных или высверленных из камней, целых изделий или монолита. Предел прочности природных камней, мелких и крупных блоков из указанных бетонов вычисляется умножением результатов испытаний образцов-кубов или цилиндров на масштабные коэффициенты, указанные в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Значения масштабного коэффициента

Размер ребра куба или диаметр d и высота h = d, мм	Коэффициент для	
	кубов	цилиндров
200	1,05	-
150	1,0	1,05
100	0,95	1,02
70	0,85	0,91
40-50	0,75	0,81

Коэффициенты могут использоваться при определении предела прочности обыкновенного глиняного и силикатного кирпича по данным испытаний кубиков и цилиндров с высотой ребра или диаметром 40...60 мм.

Прочность (марка) раствора кладки при сжатии, взятого из швов наиболее характерных участков стен, определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 5802 путём испытания на сжатие кубов с ребрами 2...4 см, изготовленных из двух пластинок раствора, взятых из горизонтальных швов кладки или стыков крупнопанельных конструкций, склеенных и выровненных по контактными поверхностям гипсовым раствором толщиной 1...2 мм.

Испытание кубов из отвердевшего раствора производится через сутки после изготовления, а из оттаявшего раствора – через 2...3 ч. Марка раствора определяется как средний результат пяти испытаний, умноженный на коэффициент K (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Значение коэффициента K

Вид раствора	Размер ребра куба, см		
	2	3	4
	Коэффициент		
Летний	0,56	0,68	0,8
Зимний, отвердевший после оттаивания	0,46	0,65	0,75

Прочность раствора по длине и высоте стен, столбов, простенков может сильно изменяться. В связи с этим отбор образцов раствора из швов кладки рекомендуется производить после предварительной приближенной оценки прочности (марки) раствора с помощью лезвия ножа или другого режущего инструмента. Приближенная оценка производится по характерным признакам повреждения растворного шва при "строгающем" движении острого ножа по поверхности шва (табл. 6.4.).

Таблица 6.4 – Приближенная оценка прочности раствора

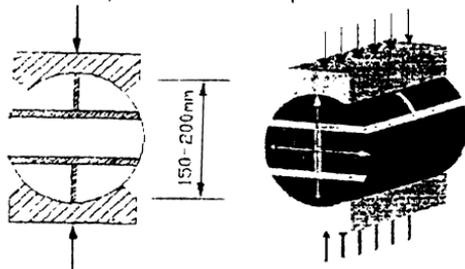
Марка раствора (приближенно)	Характерные признаки повреждения раствора шва при испытании лезвием ножа
0-2	Раствор легко рыхлится ножом, высыпается, выдувается
4-10	Раствор легко рыхлится ножом
25	Раствор режется с трудом, крошится
50	Раствор крошится, но режется
100 и более	На поверхности шва при движении лезвия ножа остается светлый или темный след

Несущая способность кладки определяется по наименьшей прочности кирпича и раствора, если высота слоя кладки со слабым раствором составляет более трех рядов кирпича или камней.

Достоверность оценки прочности каменной кладки по результатам испытаний отобранных из конструкции образцов кладочных элементов и раствора не всегда достаточна. Это обусловлено высоким коэффициентом вариации прочностных показателей кладочных элементов. Существенным недостатком разрушающего метода является то, что при отборе образцов кирпича и раствора происходит нарушение структуры кладки. Как следствие, не учитывается такой важный показатель, как качество выполнения кладочных работ, или, другими словами, «рука каменщика».

В зарубежной практике обследования для определения фактической прочности кладки, как правило, используются разрушающие методы или методы ее частичного разрушения.

Одним из таких методов является метод определения прочности кладки при сжатии на образцах – цилиндрах диаметром 150...200 мм, отобранных из тела конструкции. Отбор цилиндров производится с помощью специальных буров, при этом в образцах сохраняется структура кладки. Испытания образцов кладки производят по схеме, показанной на рис. 6.4.



**Рисунок 6.4 – Схема испытаний образцов кладки на сжатие**

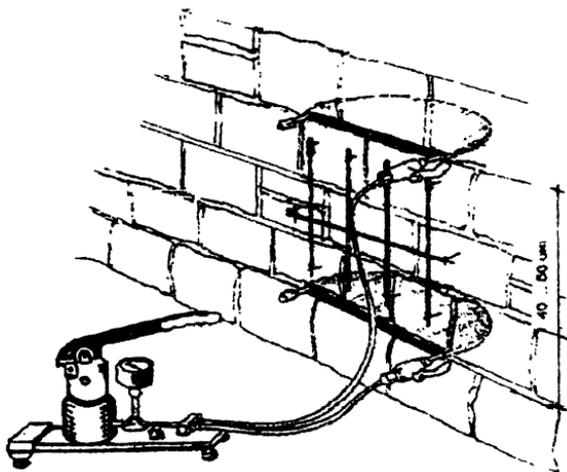
Данный метод оценки прочности кладки при сжатии используют преимущественно для кладок из полнотелого кирпича на прочном растворе. При растворах низкой прочности или пустотном кирпиче возникают сложности с отбором образцов кладки для испытаний.

Наиболее достоверные данные о прочности кладки при сжатии дает метод испытаний непосредственно в конструкции с помощью плоского пресса (Flat-Jack-Tests) (рис. 6.5). Плоские плиты пресса (плоские домкраты) устанавливаются в предварительно прорезанные в кладке конструкции горизонтальные щели шириной 20 мм. Сжатию подвергается участок кладки с ненарушенной структурой высотой 400-500 мм. В ходе испытаний определяются не только прочностные, но и деформационные характеристики кладки. Нагружение кладки может производиться до определенного уровня напряжений или до полного исчерпания ее несущей способности. Соппротивление кладки сжатию  $S_f$  определяется по формуле.

$$S_f = K_f \cdot K_a \cdot P_f, \quad (6.4)$$

где  $K_f$  и  $K_a$  – коэффициенты, учитывающие сдерживающее влияние плит пресса и прилегающей к разрезу кладки, принимается  $< 1$ ;

$P_f$  – разрушающее давление, создаваемое прессом.



**Рисунок 6.5 – Схема испытаний каменной кладки методом «Flat-Jack-Tests»**

### 6.5 Проверочные расчеты

Выполняются с использованием расчетных характеристик прочности кирпичной кладки с учетом определенных характеристик кирпича и раствора.

Прочность кладки на осевое растяжение по неперевязанному сечению ( $R_{bt,n}$ ) определяется по формуле:

$$R_{bt,n} = 0,17 \sqrt{R_{bn}} \quad (6.5)$$

где  $R_{bn}$  – прочность раствора на сжатие, кг/см<sup>2</sup>.

Значения расчетных сопротивлений кладки по неперевязанному сечению определяются от величин  $R_{bt,n}$ :

- осевому растяжению –  $R_t = 0,45 R_{bt,n}$ ; (6.6)

- срезу –  $R_{sq} = 0,7 R_{bt,n}$ ; (6.7)

- растяжению при изгибе (главные растягивающие напряжения при изгибе)  
 $R_{bt}(R_n) = 0,8 R_{bt,n}$ . (6.8)

Расчетное сопротивление сжатию кладки ( $R_{ct}$ ) определяется по формуле:

$$R_{ct} = \frac{R_{k,ct,n}}{\gamma_{k,ct}} \quad (6.9)$$

где  $R_{k,ct,n}$  – нормативное сопротивление кладки сжатию, определяемое по формуле (6.10);  $\gamma_{k,ct}$  – коэффициент надежности кладки на сжатие, принимаемый равным 1,5.

Нормативное сопротивление сжатию кладки с обеспеченностью 0,95 равно:

$$R_{k,ct,n} = \eta \cdot A \cdot R_{k,m} \left( 0,42 + \frac{0,37 \cdot R_{k,m}}{R_{k,m}} \right) \quad (6.10)$$

где  $A = 0,626 - 0,001 R_{k,m}$  – конструктивный коэффициент;  $\eta$  – поправочный коэффициент для кладки на растворах низких марок  $\eta = 1$  при  $R_{k,m} > 0,04 R_{k,m}$ ;

$\eta = 0,8 + 5,71 \frac{R_{h,m}}{R_{k,m}}$  при  $R_{h,m} < 0,04 R_{k,m}$ ;  $R_{h,m}; R_{k,m}$  – нормативная прочность на

сжатие с обеспеченностью 0,95 соответственно раствора и кирпича кладки.

$$R_{k,m} = \overline{R_k} (1 - 1,64 V_k), \quad (6.11)$$

$$R_{h,m} = \overline{R_{hn}} (1 - 1,64 V_p), \quad (6.12)$$

где  $\overline{R_k}, \overline{R_{hn}}$  – среднее значение прочности на сжатие соответственно, кирпича и раствора;  $V_k, V_p$  – коэффициент вариации (изменчивости) соответственно кирпича и раствора.

Расчетное сопротивление сжатию кладки достаточно точно для инженерных расчетов определяется в зависимости от найденной марки кирпича и раствора по табл. 2 СНиП 11-22-81 [10].

Таблица 6.5 – Значение коэффициента  $K_{тс}$

Характер повреждения кладки стен, столбов и простенков	При кладке	
	неармированной	армированной
Трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы	1	1
Волосяные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной 15-18 см)	0,9	1
То же, при пересечении не более четырех рядов кладки (длиной до 35 см) при числе трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка	0,75	0,9
Трещины с раскрытием до 2 мм, пересекающие не более восьми рядов кладки (длиной до 60-65 см) при числе трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба, простенка	0,5	0,7
То же при пересечении более восьми рядов (длиной более 65 см)	0	0,5
* Смотреть таблицу следует совместно с рис. 6.2.		

Прочность каменных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений определяется поверочными расчетами на основании данных, полученных при обследовании. При этом учитываются дефекты и повреждения, снижающие прочность: трещины, разрушение поверхностных слоев кладки, наличие эксцентриситетов, вызванных отклонением от вертикали, нарушение конструктивной связи между стенами, повреждение опор балок перемычек, смещение элементов.

Вертикальные силовые трещины учитываются введением понижающего коэффициента  $K_{тp}$  к расчетному сопротивлению каменной кладки  $R$  в соответствии с табл. 6.5.

Значение коэффициента  $K_{тс}$  для стен, столбов, простенков из красного или силикатного кирпича при огневом воздействии при пожаре, принимается по табл. 6.6.

Для увлажненной и насыщенной водой кладки из красного и силикатного кирпича и камней  $K_{тс} = 0,85$ ; из природных камней правильной формы из известняка и песчаника  $K_{тс} = 0,8$ .

Таблица 6.6 – Значения коэффициента  $K_{тс}$

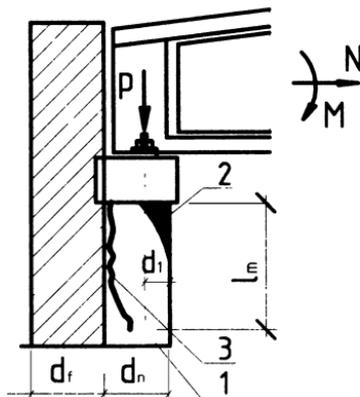
Глубина повреждения кладки (без учета штукатурки), см	$K_{тс}$ для		
	стен и простенков толщиной 38 см и более		столбов при размере сечения 38 см и более
	при одностороннем нагреве	при двустороннем нагреве	
до 0,5	1	0,95	0,9
до 2	0,95	0,9	0,85
до 5-8	0,9	0,8	0,7

Значение коэффициента  $K_{тс}$  при наличии дефектов производства работ (отсутствие перевязки, пустошовка, большая толщина растворных швов) определяется по табл.6.7.

Таблица 6.7 – Значения коэффициента  $K_{тс}$

Вид дефекта	$K_{тс}$
Отсутствие перевязки рядов кладки (тычковых рядов, арматурных сеток, каркасов):	
• в 5-6 рядах (40-45 см)	1,0
• в 8-8 рядах (60-85 см)	0,9
• в 10-11 рядах (75-80 см)	0,75
Отсутствие заполнения раствором вертикальных швов (пустошовка)	0,9
При толщине горизонтальных швов более 2 см (3-4 шва на 1 м высоты кладки):	
• при марке раствора шва 75 и более	1,0
• то же, 25-50	0,9
• то же, менее 25	0,8

Значение коэффициента  $K_{тс}$  для кладки опор ферм, балок, перемычек, плит при наличии местных повреждений (трещин, сколов, раздробления (см. рис. 6.6), возникающих при действии вертикальных и горизонтальных сил, принимается по табл. 6.8.



1 – пилястра; 2 – краевое раздробление и сколы кладки под опорой;  
3 – вертикальные трещины

**Рис. 6.6 – Характерные случаи повреждения опорных участков пилястр каменных стен при опирании на них ферм и балок**

Таблица 6.8 – Значения коэффициента  $K_{тс}$

Характер повреждения кладки опор	$K_{тс}$ для кладки опор	
	неармированной	армированной
Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см (трещины, сколы, раздробление) или образование вертикальных трещин по торцам балок, ферм и перемычек или их опорных подушек длиной до 15-18 см	0,75	0,9
То же, при длине трещин до 30-35 см	0,5	0,75
Краевое повреждение кладки на глубину более 2 см при образовании по торцам балок, ферм и перемычек вертикальных и косых трещин длиной более 38 см в кладке	0	0,5

Условие прочности имеет вид:

$$N_{сд} \leq N_{рд} (R \cdot K_{мп} \cdot K_{мс}), \quad (6.13)$$

где  $R$  – расчетное сопротивление каменной кладки.

Коэффициент запаса прочности каменных и армокаменных конструкций равен отношению усилия, соответствующего фактической прочности каменной кладки, рассчитанной по средним значениям прочности кладки  $R$ , к действующему усилию от фактической нагрузки.

$$K = \frac{N_{рд} (\bar{R} \cdot K_{мп})}{N_{сд}} \quad (6.14)$$

Если  $K < C$  состояние элемента характеризуется как предаварийное, где  $C$  – коэффициент аварийности равен:  $C = 1,7$  – для неармированной кладки,  $C = 1,5$  – для армированной кладки.

При известной марке кирпича и раствора среднее значение предела прочности кладки  $R$  принимается равным

$$R = 2R. \quad (6.15)$$

При отклонении от вертикали или выпучивании стен в пределах этажа на величину до 1/3 толщины прочность определяется с учетом фактического эксцентриситета от вышерасположенной нагрузки.

В случае образования вертикальных трещин в местах пересечения стен или разрыва поперечных связей между стенами прочность и устойчивость стен определяется с учетом фактической свободной высоты стены между точками сохранившихся связей.

При смещении прогонов, плит перекрытий и покрытий на опорах должна выполняться проверка прочности каменных элементов на местное смятие и внецентренное сжатие по фактической величине эксцентриситета и площади опирания прогонов и плит перекрытий.

Исключительно важное значение имеет учет фактического состояния кладки, что реализуется и помощью коэффициента  $K_{тс}$ .

## 6.6. Оценка технического состояния

При оценке технического состояния следует учитывать следующие допущения, применение которых обусловлено опытом эксплуатации.

Для целых, неповрежденных трещинами сечений – конструкции здания подлежат обязательному усилению, если фактическая несущая способность  $\Phi$ , с коэффициентом допустимой перегрузки  $n_{дп}$  недостаточна для восприятия фактической или предполагаемой проектом реконструкции нагрузки  $F$ , т.е. при условии, если

$$F \geq \Phi \cdot n_{дп} , \quad (6.16)$$

где  $n_{дп}$  – коэффициент допустимой перегрузки принимается равным для каменных конструкций – 1,15.

Для каменных конструкций, поврежденных трещинами, применение коэффициента  $n_{дп}$  не допускается.

Состояние, степень повреждения и необходимость конструктивного усиления каменных, крупноблочных и крупнопанельных конструкций определяются в зависимости от величины снижения (в процентах) несущей способности при наличии дефектов, трещин и повреждений. Основные градации состояний, степени повреждений конструкций и рекомендации по их усилению приводятся в табл.6.9.

Таблица 6.9 – Оценка состояния СК

Состояние и степень повреждения (в скобках)	Снижение несущей способности, в %	Усиление конструкций
удовлетворительное (0)	0-5	не требуется
слабое (I)	до 15	требуется при наличии трещин
среднее (II)	до 25	требуется
сильное (III)	до 50	требуется
аварийное (IV)	свыше 50	возможно при ТЭ обосновании или разборка

1. При снижении несущей способности конструкций на 15% и более вследствие повреждения сечения трещинами, сколами, раздроблением и т.п. усиление конструкций во всех случаях является обязательным независимо от величины действующей нагрузки.  
 2. При отсутствии указанных повреждений усиление конструкций требуется в случаях, когда величина действующей нагрузки превосходит их фактическую несущую способность, с учетом пониженной прочности (марки).

В общем случае оценка технического состояния каменных конструкций производится согласно положению п.8.3 [1]. Следует иметь в виду, что каменные конструкции имеют ряд несоответствий, которые указывают на предаварийное состояние объекта:

- повреждение кладки на глубину более 50% толщины сечения;
- отклонение от вертикали или потеря устойчивости (выпучивание) в пределах этажа на  $\Delta \geq 0.3h$  сечения;
- длина площадки опирания меньше нормируемой более чем на 50%;
- местное разрушение (смятие) кладки под опорой на глубину более 1/5 длины опирания;
- наличие под опорами трещин (вертикальных или наклонных), пересекающих более четырех рядов камней;
- силовые трещины раскрытием более 2 мм, пересекающих 8 и более рядов камней;

- разрушение креплений (анкеров) стен к колоннам и перекрытиям.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назовите причины появления дефектов (и каких?) при проектировании.
2. Какие дефекты могут появляться при выполнении кладки при отрицательной температуре воздуха?
3. Назовите дефекты, появляющиеся при выполнении кладки при положительной температуре воздуха.
4. Перечислите повреждения кладки из каменных материалов, связанные с нарушением правил эксплуатации.
5. Перечислите виды дефектов (повреждений), которые могут иметь место в несущих, самонесущих и не несущих стенах.
6. Приведите примеры и поясните появление дефектов и повреждений в перегородках.
7. Раскройте механизм разрушения каменной кладки при ее периодическом увлажнении.
8. Возможен ли биологический механизм разрушения конструкций зданий из каменных материалов?
9. Составьте порядок работ, который выполняется при обследовании.
10. Раскройте механизм разрушения каменных материалов в процессе эксплуатации.
11. Назовите особенности ведения работ по диагностике объектов из каменных материалов, включенных в список (перечень) Министерства культуры.
12. Как определяются фактические характеристики кладки при обследовании?
13. Как учитываются дефекты и повреждения КК при выполнении проверочных расчетов?
14. С какой целью составляют схемы расположения дефектов по всему объекту?
15. Назовите и обоснуйте внешние признаки наступления предельного состояния каменных конструкций.
16. Предложите мероприятия по обеспечению долговечности каменных конструкций.

## ТЕМА №7. ОЦЕНКА ИЗНОСА ОБЪЕКТА

### Перечень рассматриваемых вопросов:

- 7.1. Физический и моральный износ. Необходимость определения (с. 2-3 [5]).
- 7.2. Метод ориентировочной оценки физического износа (с. 20-21 [1]).
- 7.3. Методика определения физического износа (с. 1-3 [3]).

### 7.1. Физический и моральный износ. Необходимость определения

Физический износ объекта – процесс ухудшения технических и связанных с ними других показателей эксплуатационных качеств здания или его отдельных элементов [1].

Моральный износ объекта – несоответствие современным требованиям основных параметров здания, определяющих условия проживания или производства, объём и качество предоставляемых услуг [1].

Необходимость определения данных показателей связана с определением остаточной стоимости, планированием ремонта, технической инвентаризации.

Для оценки физического и морального износа приняты следующие критерии: соответствие архитектурно-планировочного решения и степени инженерного обеспечения действующим нормативно-техническим документам; техническое состояние и эксплуатационные характеристики строительных конструкций и инженерного оборудования.

Физический и моральный износ наиболее точно оценивается отношением стоимости восстановительных работ по объекту или его элементам к полной восстановленной стоимости объекта после реконструкции или модернизации.

Для жилых домов (жилых помещений) в зависимости от наличия и значимости дефектов устанавливаются две категории санитарно-технического состояния (СТС):

– к первой категории относят жилые дома (жилые помещения) пригодные для проживания, но не отвечающие требованиям СТС, которые могут быть использованы для временного проживания;

– ко второй категории относят жилые дома (жилые помещения), не пригодные для проживания и подлежащие сносу.

Отнесение объекта к первой категории СТС возможно в следующих случаях:

– размещение квартир в цокольных этажах;

– отсутствие в двух и более этажных домах городской застройки водоснабжения, канализации, отопления;

– наличие в домах встроенных помещений (запрещенных НТД) без вентиляции и звукоизоляции;

– отсутствие кухонь, размещение над жилыми помещениями санузлов, канализационных трубопроводов;

– высота в жилых помещениях от пола до потолка менее 2.4 м;

– единственное окно в помещении находится на расстоянии менее 3 м от стены соседнего дома или выходит под арку;

– выход в санблок выполнен из жилой комнаты;

– жилые комнаты находятся над помещениями с большим тепловыделением (температура пола выше +28°С, на высоте 1.5 м от пола – выше +25°С);

– расположение жилых домов в санитарно-защитных зонах промпредприятий, в которых воздействия (загрязнение воздуха, уровень шума, вибрация,

напряжение электромагнитных полей и т.д.) превышают предельно допустимые контрольные цифры (ПДК) и предельно допустимые уровни воздействий (ПДУ);

- наличие отдельных конструктивных элементов, состояние которых близко к аварийному.

Отнесение объекта ко второй категории СТС возможно, если:

- физический износ каменных домов выше 70%, а деревянных домов и домов со стенами из других материалов – выше 65%;

- жилой объект находится в аварийном состоянии, устранение которого невозможно.

## 7.2. Метод ориентировочной оценки физического износа.

В процессе общего или детального обследования степень снижения (в процентах) показателей эксплуатационных качеств устанавливается по признакам износа (дефектам, повреждениям). Эта связь реализуется при оценке физического износа при производстве технической инвентаризации (см. табл. 7.1).

Таблица 7.1 – Ориентировочная оценка физического износа

Категория технического состояния по ТКП 45-1.04-208-2010 [1]	I	II	III	IV	V
Физический износ объекта в %	≤ 10	11..30	31..50	51..70	≥ 71

## 7.3. Методика определения физического износа

Оценка уровня физического износа производится в следующей последовательности.

В результате проведения общего или детального обследования устанавливаются наличие, размер и количество признаков физического износа (трещины, прогибы, повреждения, отклонение от вертикали и т.д.).

По таблицам раздела 5 [3] они сопоставляются с базовыми и определяется физический износ в процентах ( $\Phi_i$ ).

Физический износ элемента, конструкции ( $\Phi_k$ ), имеющей участки с различным уровнем повреждения определится:

$$\Phi_k = \sum_{i=1}^n \Phi_i \cdot \frac{P_i}{P_k}, \quad (7.1)$$

где  $n$  – число повреждённых участков;

$P_i, P_k$  – размер (площадь, длина) повреждённого участка и всего элемента (конструкции) в целом, в  $m^2$  или  $m$ .

Физический износ здания или сооружения ( $\Phi_3$ ) определится:

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^k \Phi_{ki} \cdot l_i, \quad (7.2)$$

где  $k$  – количество конструкций (элементов);

$l_i$  – коэффициент соответствующий восстановительной стоимости конструкции (элемента) в общей восстановительной стоимости здания.

Значения ( $l_i$ ) определяются по усреднённым долям восстановительной стоимости (при их отсутствии по сметной стоимости), приведённых в приложении В [3].

Физический износ внутренних систем инженерного оборудования определяется по аналогичной схеме: при обследовании фиксируются признаки физического износа составляющих системы; по таблицам раздела 5.13 [3] определяется процент физического износа; физический износ определяется по формуле (7.2).

При величине физического износа более 70% ремонт или реконструкция объекта считаются экономически нецелесообразными.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Обоснуйте экономическую и социальную необходимость определения физического и морального износа объекта.

2. Объясните суть метода ориентировочной оценки физического износа.

3. Сформулируйте положения процесса определения морального износа.

4. Объясните суть методики определения физического износа.

5. Определяется ли и с какой целью моральный и физический износ объектов, внесённых в Государственный список историко-культурных ценностей РБ?

6. Как определяется физический износ отдельных конструкций?

7. При какой величине физического износа проведение ремонта или реконструкции не целесообразно? Справедливо ли это требование для объектов, имеющих историко-культурную ценность?

8. Как определяется физический износ инженерных систем на объекте?

9. Всегда ли требуется определение физического и морального износа объекта?

10. Может ли только моральный износ объекта стать причиной реконструкции объекта?

11. Может ли производиться прогнозная оценка нарастания процессов физического износа строительных конструкций при увеличении агрессивности среды эксплуатации после реконструкции объекта?

12. Может ли стоимость (трудоемкость) мероприятий по устранению физического или морального износа быть причиной отказа от реконструкции объекта?

13. В каких случаях вопросы принятия решения о реконструкции объекта увязываются с наличием (или возведением в перспективе) производственных зданий и сооружений в районе застройки?

14. Могут ли при разработке проекта реконструкции объекта предусматриваться мероприятия для соседних производственных зданий и сооружений по снижению ПТК и ПДУ?

## МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕРКИ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### 1. Методические основы организации

Особенностью изучаемой дисциплины являются, с одной стороны, огромный объём непрерывно изменяющейся информации, а с другой – весьма небольшой объём предусмотренных учебным планом часов. Задача состоит в создании условий для перехода от модели пассивного информационного (аудиторного) образования к модели активного изучения материала, сочетающего аудиторную (первичную и направляющую) и самостоятельную (в большей степени) работу, в которой должен присутствовать анализ, поиск решений в реальной ситуации с учётом особенностей развития экономики Республики Беларусь.

Получить искомый результат можно, объединив два направления: вызвать заинтересованность обучаемого, показав практическую востребованность дисциплины в дальнейшей его работе; предусмотреть формы контроля знаний (научная работа, реферат, контрольные вопросы и т.д.), требующие непрерывной работы, инициативы и активизации мыслительной деятельности студента. В то же время нельзя допустить заорганизованность действий, утратить творческое начало. Виды и способы достижения цели в каждой конкретной ситуации преподаватель должен решать сам.

Все вопросы, используемые для контроля знаний, доводятся до студента сразу, а не по окончании учебного курса. Они разбиты на блоки, моделирующие механизм подготовки и изложения материала на экзамене (зачёте), а именно:

- блок №1 – изложение ответа на поставленный вопрос;
- блок №2 – активное конструирование ответа;
- блок №3 – поиск решений в реальной ситуации;
- блок №4 – инициативная деятельность с перспективой.

В разделе 2 дан перечень вопросов, из которых формируется задание для контроля знаний студента. Вопросы позволяют студенту понять суть и направленность организации контроля знаний, поставить акценты при изучении материала (не запоминание, а понимание и применение на практике), использовать дополнительные источники для получения самостоятельно более полной информации (библиотека, пресса, интернет и т.д.), планировать деятельность по подготовке к рубежному контролю знаний в течение всего семестра. При этом, на наш взгляд, будет формироваться и активная жизненная позиция студента, т.к. соединение (приложение) с действительностью изучаемых вопросов непременно должно помогать вникать в практические, экономические и политические аспекты жизни Республики Беларусь.

## 2. Вопросы для итогового контроля знаний

### Вопросы блока №1

- 1.1. Изложите методы реализации диагностики.
- 1.2. Нормативная база, применяемая при оценке технического состояния объекта.
- 1.3. Приборы и методы, используемые при проведении детального обследования (разрушающие методы).
- 1.4. Приборы и методы, используемые при проведении детального обследования (неразрушающие методы).
- 1.5. Изложите методику сбора информации о состоянии железобетонных конструкций (перечень параметров и виды систематизации).
- 1.6. Изложите методику сбора информации о состоянии металлических конструкций (перечень параметров и виды систематизации).
- 1.7. Изложите методику сбора информации о состоянии конструкций из древесины (перечень параметров и виды систематизации).
- 1.8. Изложите методику сбора информации о состоянии конструкций из искусственных и природных каменных материалов (перечень параметров и виды систематизации).
- 1.9. Определение физико-механических характеристик материала ЖБК.
- 1.10. Определение физико-механических характеристик материала МК.
- 1.11. Определение физико-механических характеристик материала ДК.
- 1.12. Определение физико-механических характеристик материала конструкций из искусственного и природного камня.
- 1.13. Проверочные расчеты эксплуатируемых железобетонных конструкций.
- 1.14. Проверочные расчеты эксплуатируемых конструкций из металла.
- 1.15. Проверочные расчеты эксплуатируемых конструкций из древесины.
- 1.16. Проверочные расчеты эксплуатируемых каменных конструкций.
- 1.17. Методика оценки физического износа объекта и его элементов.
- 1.18. Изложите структуру построения заключения о техническом состоянии объекта.
- 1.19. Техника безопасности при проведении работ по обследованию объекта.

### Вопросы блока №2

- 2.1. Обоснуйте причины появления дефектов и повреждений у ЖБК.
- 2.2. Обоснуйте причины появления дефектов и повреждений у МК.
- 2.3. Обоснуйте причины появления дефектов и повреждений у ДК.
- 2.4. Обоснуйте причины появления дефектов и повреждений у конструкций из искусственных и природных каменных материалов.
- 2.5. Определите цель и сформулируйте задачи диагностики объекта.
- 2.6. Составьте структуру (последовательность) выполняемых работ по диагностике объекта.
- 2.7. Определите особенности организации работ по диагностике реставрируемого объекта.
- 2.8. Определите причины и признаки физического и морального износа объекта.
- 2.9. Определите структуру работ по диагностике объекта, имеющего большой объём.

2.10. Предложите состав работ по недопущению повреждений объекта в процессе эксплуатации.

### Вопросы блока №3

3.1. Предложите мероприятия по устранению причин появления дефектов и повреждений у СК на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации.

3.2. Изложите достоинства и недостатки разрушающих и неразрушающих методов определения физико-механических характеристик материалов.

3.3. Покажите и обоснуйте особенности ведения работ по диагностике объекта при его эксплуатации в условиях агрессивной среды.

3.4. Перечислите виды дефектов и оцените их влияние на работу ЖБК.

3.5. Перечислите виды дефектов и оцените их влияние на работу МК.

3.6. Перечислите виды дефектов и оцените их влияние на работу ДК.

3.7. Перечислите виды дефектов и оцените их влияние на работу конструктив из искусственных и природных каменных материалов.

3.8. Сформулируйте особенности ведения работ по диагностике объекта, имеющего историко-культурную ценность.

3.9. Составьте перечень работ по диагностике объекта, имеющего историко-культурную ценность.

3.10. В каких случаях при диагностике объектов из железобетона, металла, дерева и камня техническое состояние классифицируется как предельное?

### Вопросы блока №4

4.1. Обоснуйте экономическую эффективность диагностики объектов на примере экономики Республики Беларусь.

4.2. Определите перспективы и направления развития нормативно-технической базы, используемой при диагностике объектов.

4.3. Предложите комплекс технических и организационных мероприятий по снижению физического и морального износа объектов.

4.4. Какие современные материалы и технологии используются для восстановления ресурса железобетонных конструкций (примеры, перспективы развития)?

4.5. Какие современные материалы и технологии используются для восстановления ресурса конструкций из металла (примеры, перспективы развития)?

4.6. Какие современные материалы и технологии используются для восстановления ресурса конструкций из древесины (примеры, перспективы развития)?

4.7. Какие современные материалы и технологии используются для восстановления ресурса каменных конструкций (примеры, перспективы развития)?

4.8. Какие современные материалы и технологии используются при реставрации объектов (подходы, примеры, перспективы развития)?

4.9. Предложите комплексную структуру построения работ по обеспечению долговечности объекта и снижению затрат на его эксплуатацию.

4.10. Определите (предложите, дополните) условия для подготовки специалистов, выполняющих диагностику объектов.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

*Кондратчик Александр Аркадьевич*

*Кондратчик Наталья Ивановна*

# **Реконструкция и реставрация зданий и сооружений**

Учебно-методический комплекс для студентов специальности  
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

## **Часть 1**

**Диагностика технического состояния  
зданий и сооружений**

Ответственный за выпуск: Кондратчик А.А.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.

Корректор: Никитчик Е.В.

---

Издательство БрГТУ.

Подписано к печати 29.04.2013 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага «Снегурочка».

Усл.-печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 5,75. Заказ № 246. Тираж 75 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Брестский государственный технический университет».

224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Лицензия № 02330/0549435 от 8.04.2009 г.