

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет транспорта»  
Кафедра «Промышленные и гражданские сооружения»  
Научно-исследовательская лаборатория  
«Строительные конструкции, основания и фундаменты»  
им. д-ра техн. наук, профессора И. А. Кудрявцева

А. А. ВАСИЛЬЕВ

## ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С приложениями на оптическом диске

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений  
высшего образования по строительным специальностям*

Гомель 2012

УДК 624.012.45/46  
ББК 38.53  
В19

Рецензенты: заслуженный деятель науки Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета *Т. М. Пецольд*; кандидат технических наук, доцент этой же кафедры – *И. В. Смех*; кафедра «Строительные конструкции» Брестского государственного технического университета (зав. кафедрой кандидат технических наук, доцент *Н.Н. Шалобыта*; кандидат технических наук, профессор *А.А. Кондратчик*)

### **Васильев, А. А.**

В19 Дефекты и повреждения строительных конструкций : с прилож. на опт. диске : учеб. пособие / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 361 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – 20 Мб. – Систем. требования: ПК с процессором Celeron 800 и выше ; дисковод CD-ROM ; Windows XP.

ISBN 978-985-468-998-2 (отд. изд.)

ISBN 978-985-468-696-7

Приведены характерные дефекты и повреждения элементов и конструкций зданий и сооружений, а также причины их возникновения. Показаны возможные влияния дефектов и повреждений и последствия их развития на техническое состояние конструкций зданий и сооружений.

Предназначено для студентов строительных специальностей и слушателей Института повышения квалификации, может быть использовано зрителями зданий различной квалификации, инженерно-техническими работниками жилищно-коммунальных служб, проектных и строительных организаций, занимающихся эксплуатацией и обследованием зданий и сооружений, для практического применения при оценке технического состояния элементов и конструкций зданий и сооружений, расчета их физического износа.

К книге прилагается компакт-диск с графическими приложениями примеров характерных дефектов и повреждений конструкций.

УДК 624.012.45/46  
ББК 38.53

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

**О**беспечение эксплуатационной надежности и долговечности строящихся зданий и сооружений – основная задача проектных, строительных и эксплуатирующих организаций. Однако с учетом кризисных явлений в мировой экономике, из-за которых происходит сокращение инвестиций в новое строительство, важное значение приобретает необходимость продления сроков службы существующих объектов строительства.

В нашей стране, как и в других странах бывшего СССР, данная проблема осложнена низкой начальной надежностью зданий (невысоким качеством материалов, конструкций и строительных работ) и неудовлетворительной эксплуатацией без соблюдения всех необходимых мероприятий по регулярному надзору, обслуживанию, санитарному содержанию и ремонту конструкций и инженерных систем.

Невысокое качество эксплуатации обусловлено сочетанием множества различных факторов: неудовлетворительным качеством материалов, нарушением технологии изготовления и монтажа элементов и конструкций, невыполнением правил и норм эксплуатации, а зачастую и грубейшим их нарушением. И если для качественного изготовления и возведения конструкций готовят квалифицированных специалистов в различных областях, то для эксплуатации зданий и сооружений вузы выпускают еще недостаточно специалистов. Эксплуатацией зданий и сооружений, особенно в сельских районах, занимаются люди не просто без специального образования, зрителями зданий в массовом порядке назначаются лица, не имеющие даже элементарных познаний в строительной области.

Огромное количество находящихся в эксплуатации зданий и сооружений, недостаток специалистов и знаний обуславливают необходимость разработки специальной технической литературы, позволяющей повысить качество эксплуатации объектов строительства и

доступной для изучения и применения на практике даже неспециалистам.

Предлагаемое пособие является первым в нашей стране, где максимально подобраны и классифицированы по видам работ, материалов и конструкций и описаны возможные дефекты и повреждения, возникающие в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций зданий и сооружений. Показаны причины их возникновения и приведены примеры последствий развития во времени дефектов и повреждений конструкций.

В целях улучшения усвоения предлагаемого материала в пособии приведены графические фотопримеры дефектов и повреждений элементов и конструкций зданий. Для сохранения качества изображений и удобства восприятия они представлены в приложениях на оптическом диске в виде дополнительных разделов пособия. В приложении А приведены примеры характерных дефектов конструкций, в приложении Б – характерных повреждений, в приложении В – характерные примеры развития дефектов.

При подготовке пособия использовано значительное количество литературных источников, как отдельных авторов, так и нормативных документов. Выполнение на них ссылок непосредственно в текстовой части привело бы к существенному усложнению восприятия материала, поэтому они не приводятся в конкретных местах текста, а даны в «Списке литературы», приведенном в конце пособия.

Автор выражает благодарность научному сотруднику НИЛ «СКОиФ» им. д-ра техн. наук, профессора И.А. Кудрявцева Белорусского государственного университета транспорта С. В. Дзирко за помощь в подборе и классификации фотоматериалов.

Особую благодарность автор выражает заслуженному деятелю науки Республики Беларусь, д-ру техн. наук, профессору кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета Т. М. Пецольду и канд. техн. наук, доценту этой же кафедры И. В. Смеху, канд. техн. наук, доценту, заведующему кафедрой «Строительные конструкции» Брестского государственного технического университета Н. Н. Шалобыта и канд. техн. наук, профессору этой же кафедры

А. А. Кондратчику за ценные замечания и дополнения, высказанные при рецензировании данного пособия.

Для дальнейшего совершенствования пособия и возможного его переиздания автор просит свои замечания и предложения присылать по адресу: e-mail: nil\_skof\_vasilyev@belsut.gomel.by.



## ВВЕДЕНИЕ

---

**В** любых зданиях и сооружениях не должно быть дефектов и повреждений, нарушающих возможность их нормальной эксплуатации или снижающих их долговечность.

В нормальных условиях дефекты являются следствием либо недостаточной квалификации изыскателей, проектировщиков, строителей и работников, осуществляющих технический надзор и принимающих здания в эксплуатацию, либо небрежности этих лиц. Они могут возникнуть также в процессе проектирования и строительства зданий, при осуществлении в них производства работ по новой технологии, возведении в малоизученных в строительном отношении районах и в других сложных условиях. Скрытые и явные дефекты встречаются во всех типах конструкций. Повреждения конструкций являются следствием развития дефектов под воздействием среды либо некачественной эксплуатации конструкций. Дефекты и повреждения могут быть различной степени значимости: одни бывают опасными и могут привести к разрушению отдельного элемента или всего сооружения, другие устраняются при проведении ремонта. Встречаются и такие, которые весь срок службы здания приходится компенсировать эксплуатационными затратами [например, усиленное отопление здания при завышенной плотности материала наружных стен].

Техническое состояние зданий и сооружений определяется количественными и качественными показателями дефектов и повреждений их конструкций. Степень поврежденности элементов и конструкций оценивается путем сравнения полученных в результате обследования показателей поврежденности с граничными (предельными) значениями, приведенными в соответствующих нормативных документах. Таких показателей на сегодняшний день существует значительное количество, как и нормативных документов. Причем и те, и другие постоянно изменяются, увеличивается их количество. Поэтому автор счел нецелесообразным приводить в пособии граничные значения количественных и качественных характеристик дефектов (повреждений).

Знание типов дефектов, умение их распознать и оценить значимость, определить причины возникновения необходимо для проектировщиков и строителей, для работников, осуществляющих технический надзор за строительством, для тщательной отработки новых проектов и технологии возведения и изготовления конструкций, а также эксплуатирующему персоналу при выполнении плановых и внеочередных осмотров для

объективной оценки технического состояния конструкций и разработки эффективного решения по их восстановлению.

# 1 ДЕФЕКТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Д**ефектами называют отклонения формы, качества, размеров от установленных техническими правилами, условиями и нормами, возникшие в процессе изготовления, перевозки или монтажа элементов и конструкций.

Дефекты зданий можно классифицировать по следующим признакам: причине и времени, характеру и значимости (рисунок 1.1).

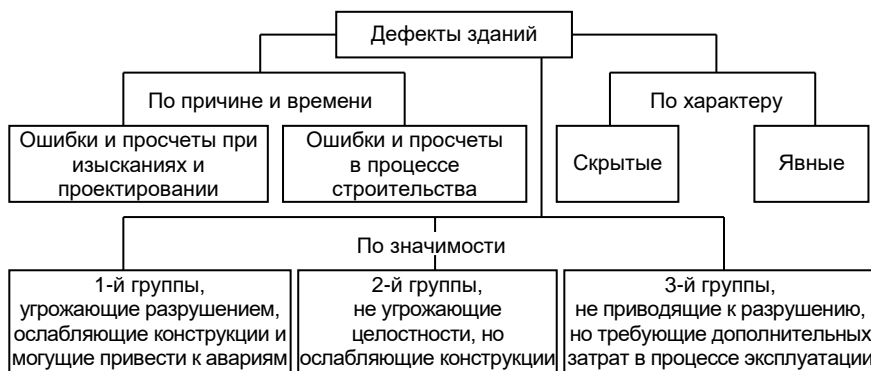


Рисунок 1.1 – Классификация дефектов зданий

Дефекты по причине и времени – это дефекты изысканий и проектирования, а также строительства.

К дефектам *изысканий и проектирования* относятся дефекты выбора участка строительства, оценки грунтов, конструкций, определения нагрузок, сечений и т. п., к дефектам *строительства* – нарушения технических условий производства работ, небрежность в отборе материалов, неоправданная замена их в ходе строительства; дефекты конструкций заводского изготовления, допущенные в процессе производства элементов и конструкций.

По характеру дефекты подразделяются на *скрытые*, не видимые при внешнем осмотре, и *явные*.

По значимости (опасности) различают три группы дефектов:

1-я – *критические*, которые могут привести к аварии. При обнаружении таких дефектов их надо немедленно устранять;

2-я – *значительные*, не угрожающие целостности зданий, но ослабляющие конструкции или снижающие эксплуатационные качества зданий; поэтому они также должны быть устранены. К этой группе относятся дефекты стыков деревянных щитовых и крупнопанельных зданий, промерзание стен и т. п.;

3-я – *малозначительные*, которые не приводят к разрушению зданий, но снижают их эксплуатационные качества и требуют дополнительных затрат на эксплуатацию.

Явные дефекты, как правило, относятся к числу сравнительно легко поддающихся исправлению, тогда как скрытые могут потребовать выполнения специальных работ для их устранения. *Каждый дефект характеризуется причинами, его вызвавшими, размерами, объемом повреждений и признаками возможного развития.*

В соответствии с СНБ 1.04.01-04 «Здания и сооружения. Основные требования к техническому состоянию и обслуживанию строительных конструкций и инженерных систем, оценке их пригодности к эксплуатации» оценку технического состояния строительных конструкций или инженерных систем, эксплуатационных качеств здания выполняют по отдельным группам показателей эксплуатационных качеств.

**При оценке несущих свойств конструкций** дефекты, для отнесения их к определенному классу, разделяют на две группы:

А – дефекты, которые характеризуют показатели качества, имеющие нормируемые численные значения;

Б – дефекты, связанные с нарушением технологии производства работ.

Для дефектов группы А класс дефекта определяется по величине ( $\Delta$ , %) превышения или занижения (в небезопасную сторону) фактического значения контролируемого параметра  $X_i$  по сравнению с его предельным (максимальным или минимальным) значением:

$$\Delta = \frac{X_i - X_{\min(\max)}}{X_{\min(\max)}}$$

Предельные значения  $X_{\min(\max)}$  определяются в соответствии с проектной и нормативно-технической документацией или по ГОСТ 21778. При этом различным группам дефектов соответствуют следующие значения  $\Delta$ , %:

- критический –  $> 40$ ;
- значительный –  $\leq 40$ ;
- малозначительный –  $\leq 10$ .



Для дефектов группы Б отнесение того или иного дефекта к определенному классу производится на основе анализа его последствий, степени влияния на основные показатели эксплуатационных качеств рассматриваемого элемента.

По количеству (степени распространения) в элементе или на его рассматриваемом участке различают дефекты:

– единичные, занимающие до 10 % площади, линейного размера или количества;

– многочисленные – до 40 %;

– массовые – св. 40 %.

В зависимости от класса дефектов, степени их распространения, а также от назначенной степени ответственности участка или элемента конструкции, в котором обнаружены данные дефекты, категория его технического состояния определяется в соответствии с таблицей 1.1.

Для отнесения конструкции к конкретной категории состояния достаточно появления указанного в таблице 1.1 сочетания параметров дефектов в любом из элементов (участков) конструкции определенной степени ответственности.

**Таблица 1.1 – Определение категории технического состояния**

Степень распространения дефектов	Класс дефектов		
	критические	значительные	малозначительные
Массовые	V	IV, V	II
	IV, V	III	II, III
Многочисленные	V	IV	II, III
	IV	II, III	II
Единичные	IV, V	III	II
	III, IV	II	I
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Римскими цифрами обозначена категория технического состояния конструкций.</p> <p>2 В числителе приведены категории для элементов 1-й степени ответственности, а в знаменателе – 2-й степени ответственности.</p>			



# 2 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, МОНТАЖА И ВОЗВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

---

## 2.1 Земляные работы

**П**од дефектами производства земляных работ подразумеваются такие нарушения технологии этих работ, которые приводят впоследствии к недопустимым деформациям надземной части здания или к значительному удорожанию работ.

При возведении здания наиболее часто встречаются следующие **дефекты производства земляных работ**, приводящие к снижению несущей способности грунтов основания:

- несоответствие типа грунта основания данным инженерно-геологическим изысканиям;

- невыполнение мероприятий по организованному отводу поверхностных вод от котлована, что приводит к нарушению природной структуры и влажности грунтов основания;

- отсутствие зачистки дна котлована и траншей перед устройством фундаментов;

- затопление, промерзание, перебор грунта основания с устройством фундаментов без проведения восстановления основания, согласованного с проектной организацией;

- невыполнение нормативных требований по организации и проведению работ по водопонижению при высоком уровне грунтовых вод.

К просадке насыпного грунта и осадке конструкций могут привести:

- нарушение принятой в проекте схемы и скорости передачи нагрузок на основание, сложенное медленно консолидирующими грунтами, что влечет потерю устойчивости грунта основания;

- применение при обратной засыпке котлованов и пазух фундаментов грунтов, физико-механические характеристики которых не соответствуют проектным;

- недостаточность требуемой степени уплотнения грунта;

- осуществление обратной засыпки мерзлым грунтом в зимнее время.

Допуск не предусмотренных проектом горизонтальных нагрузок на стены подвала (динамические нагрузки от грунта или бульдозера) при обратной засыпке пазух котлована обуславливает снижение

устойчивости стен.

Нарушение естественной структуры грунтов под подошвами фундаментов, промораживание грунтов в основании фундаментов приводят к снижению несущей способности грунтов основания.

Многие грунты характеризуются тем, что в природном состоянии они достаточно плотные и малосжимаемые, но очень легко повреждаются при механическом воздействии землеройных и транспортных машин, а также при увлажнении, становясь при этом сильносжимаемыми. К этой категории грунтов относятся ленточные глины, пылеватые суглинки и супеси при высоком уровне подземных вод. Глинистые грунты сильно разрушаются застойными водами в котлованах при длительных перерывах в работах по возведению фундаментов. Сам по себе медленный темп постройки таит опасность неблагоприятных последствий для строящегося здания. Совершенно недопустим застой дождевых вод в котловане, поскольку ленточные глины легко разрушаются поверхностными водами. Также недопустимо применение в этом случае и открытого водоотлива, так как при интенсивной откачке вместе с удалением воды вымываются и частицы грунта основания.

Значительный ущерб зданию наносит промораживание пучинистых грунтов. Причем такое промораживание может происходить не только в процессе котлованных работ, но и позднее, если не было произведено утепление подвала.

На состояние грунтового основания отрицательно сказываются длительные перерывы в производстве работ. Годами стоят открытыми котлованы, а возведенные фундаменты не имеют обратной засыпки и защиты грунта от промерзания под подошвами фундаментов и к тому же находятся в условиях сильного увлажнения. Если строительные работы возобновляются без выполнения специальных мер, разработанных с учетом реального состояния грунтов, то неизбежны большие неравномерные осадки фундаментов и деформации надземных конструкций.

## **2.2 Фундаменты**

Деформации фундаментов и подземных частей зданий и сооружений происходят не только от неудовлетворительной работы грунтового основания, но и от недостаточной прочности фундаментов, смещения их из проектного положения.

**При изготовлении сборных и монолитных бетонных и железобетонных фундаментов мелкого заложения чаще всего встречаются следующие д е ф е к т ы :**

- снижение прочности бетона по сравнению с проектной;
- несоответствие арматуры по диаметру, количеству и классам стали проектному решению;

- несоблюдение требований к толщине защитного слоя, смещение арматуры из проектного положения;
- уменьшение проектных размеров фундаментов;
- смещение фундаментов как в плане, так и по высоте;
- некачественное выполнение монолитных железобетонных поясов в фундаментах (дефекты уплотнения смеси, анкеровки арматуры и т.д.);
- отсутствие или некачественное выполнение горизонтальной гидроизоляции фундаментов.

Снижение прочности монолитных фундаментов чаще всего происходит при их промораживании в зимних условиях и отсутствии ухода за бетоном в летнее время. Малая прочность бетона сборных фундаментов обычно связана с нарушением регламента тепловой обработки при их изготовлении. Понижение прочности бетона сказывается на прочности фундаментов на продавливание, условиях заделки колонны в фундаменте.

Уменьшение количества и применение пониженного класса арматуры снижает прочность плитной части на изгиб, а подколонной части – на сжатие и раскалывание.

Уменьшение толщины защитного слоя бетона приводит к коррозии арматуры и снижению срока службы фундаментов.

Сокращение размеров подошвы фундаментов увеличивает давление на грунт и осадку фундаментов. Уменьшение толщины дна стакана может вызвать продавливание его колонной.

Смещение фундаментов в плане делает невозможным нормальный монтаж надземной части здания. Колонны в этом случае получают наклон, а горизонтальные элементы перекрытий – недостаточное опирание.

Смещение в плане ленточных фундаментов приводит к увеличению эксцентриситета приложения нагрузки от стен, что ухудшает условия работы как фундаментов, так и стен.

Смещение фундаментов по высоте вызывает необходимость углубления дна стакана или уменьшения глубины заделки колонны в фундаменте. В первом случае может произойти продавливание фундамента колонной, а во втором – не обеспечивается достаточная заделка колонны в фундаменте. В ленточных фундаментах из-за их смещения по высоте появляется потребность в срубке верха фундамента или его наращивания.

Отсутствие или некачественное выполнение горизонтальной гидроизоляции фундаментов при эксплуатации способствует увлажнению стен.

Когда проектом предусматривается устройство песчаной подушки, или такую подушку делают при устройстве котлована на глубину, большую, чем указано в проекте, то не всегда ее достаточно уплотняют. Рыхлая, неравномерно уплотненная песчаная подушка вызывает

неравномерную осадку фундаментов. Особенно неблагоприятные условия для устройства песчаной подушки создаются при работе в зимних условиях.

При устройстве ростверков в зимнее время без прогрева бетона, поскольку последние имеют малое поперечное сечение, и их бетон быстро промерзает на всю толщину, часто встречаются случаи раннего замораживания бетона монолитных свайных ростверков, что крайне негативно сказывается на прочностных характеристиках бетона.

Отсутствие соответствующего ухода (сохранения влажности в период твердения и набора прочности) за бетоном монолитных свайных ростверков, возводимых в летних условиях, приводит к пересыханию бетона и потере им прочности.

Вытекание «цементного молочка» при устройстве монолитных железобетонных ростверков приводит к снижению прочности бетона, а свайные ростверки при низкой прочности бетона не могут быть надежными основаниями для надземных конструкций.

Отсутствие зазора между грунтом основания и ростверком (либо его величина менее 5 см) при устройстве ростверка на пучинистых грунтах может привести к созданию дополнительной нагрузки на подошву ростверка, выдавливанию грунта основания из-под ростверка, следствием чего могут быть увлажнение и размораживание бетона ростверка, деформации отмостки и т. п.

Нарушение технологии при устройстве монолитных железобетонных поясов в фундаментах (бетон этих поясов испытывает зимой раннее замораживание, а летом – пересушивание) может привести к ослаблению бетона. Железобетонный пояс со слабым бетоном не обеспечивает связи с телом фундамента и может быть раздавлен вышерасположенными конструкциями.

**При устройстве забивных свай** встречаются следующие основные дефекты:

- несоответствие проекту по мощности оборудования для погружения свай, что приводит к недобивке свай;

- производство забивки железобетонных свай без применения наголовников с амортизаторами, что может привести к преждевременному разрушению головы сваи;

- завышение отметок при забивке свай с неспланированного дна котлована, глубина погружения свай при этом не откорректирована, что вызывает снижение несущей способности свай;

- производство срезки голов свай ниже отметки, требуемой для заделки ее в ростверк на проектную величину (при этом тело бетона отдельных свай не входит в бетон ростверка), что может вызвать снижение прочности узлов сопряжения свай;

- заделка свай с преднапряженной арматурой в ростверк после срезки их голов без дополнительного армирования, обеспечивающего их

анкеровку в ростверке, что может привести к снижению прочности узлов сопряжения свай.

К дефектам, вызывающим неравномерные осадки, относятся:

- отсутствие пробной забивки свай в ходе изысканий и в начале производства работ с регистрацией в журнале работ;
- нарушение нормативных требований замера отказа при забивке свай;
- невыполнение контрольной добивки свай после их «отдыха» при отказе, превышающем расчетный;
- продолжение производства работ без соответствующего решения проектной организации в случае недогружения свай до проектной отметки при отказе, равном или меньше расчетного, а также при превышении расчетного отказа свай при контрольной добивке;
- несоблюдение нормативных требований о продолжительности последнего залога при погружении свай вибропогружателями;
- нарушение требований о количестве подмывных труб и прекращении подмыва на последнем метре погружения при погружении свай забивкой с применением подмыва струей воды;
- превышение нормативных значений отклонения свай в плане или от вертикали.

**При устройстве буронабивных свай** встречаются следующие основные дефекты:

- снижение подвижности бетонной смеси по сравнению с проектной, что обуславливает нарушение сплошности ствола сваи;
- длительные перерывы между окончанием бурения скважины и началом бетонирования сваи в неустойчивых грунтах (достигающие 24 часов и более), что ведет к снижению прочности из-за возможных вывалов грунта;
- проведение укладки бетонной смеси в скважину с длительными перерывами, сброс бетонной смеси с высоты, превышающей допустимую, что вызывает снижение прочности из-за нарушения сплошности;
- оформление головы сваи с перерывом после бетонирования ствола (при этом подготовка поверхности к последующему бетонированию не произведена), установка кондуктора головы сваи со смещением от центра ствола, что может привести к снижению прочности;
- задержка извлечения обсадной трубы при изготовлении свай с креплением стенок скважины от обрушений обсадными трубами, что приводит к образованию трещин в свае при извлечении обсадной трубы;
- начало работ по устройству ростверков без приемки заглубленных в грунт и срезанных на проектном уровне свай, свай-оболочек или буронабивных свай, а также без оформления необходимой документации по устройству и приемке свайного поля, что может повлечь снижение несущей способности.

К снижению прочности фундамента приводят следующие дефекты:

- отсутствие зачистки забоя скважины от разрыхления грунта и шлама;
- несоответствие типа грунта основания данным инженерно-геологических изысканий;
- невыполнение проверки соответствия проекту расположения скважины в плане и их геометрических размеров.

### **2.3 Каменные работы**

К наиболее характерным дефектам каменных конструкций, возникающим при их возведении, могут быть отнесены:

- неоднородность растворной постели;
- применение вида и марок камня и раствора, не соответствующих проекту;
- некачественная перевязка рядов кладки, особенно опасная в сильно нагруженных элементах (столбах, простенках и пилястрах);
- отсутствие перевязки продольных стен с поперечными;
- пропуск или занижение сечений связей стен с колоннами или перекрытиями;
- утолщение горизонтальных швов кладки против предусмотренных нормами;
- плохое заполнение раствором вертикальных швов кладки;
- нарушение вертикальности стен и столбов;
- укладка прогонов и балок на стены и столбы без опорных подушек;
- недостаточная длина опирания перемычек на стены;
- пропуск или уменьшение количества арматуры в армокаменных конструкциях;
- некачественное выполнение металлических покрытий парапетов, карнизов и поясков, а также примыканий кровли к стенам;
- неправильное выполнение температурных и осадочных швов;
- дефекты кладки из-за нарушения правил производства работ в зимних условиях;
- уменьшение размеров сечения элементов в плане и по высоте по сравнению с проектными;
- использование половняка в объемах, больших нормируемого (допускается только в кладках забутовочных рядов малонагруженных конструкций в количестве не более 10 %);
- использование кирпича, не соответствующего стандартам;
- использование при возведении цокольной части стен силикатного или пустотелого кирпича;
- возведение столбов и простенков шириной <2,5 кирпича из неотборного кирпича;
- выполнение вентканалов и дымоходов из пустотелого камня и кирпича марки, по прочности ниже проектной;
- смещение (перенос) размеров по горизонтали;



- выпучивание (из вертикальной плоскости);
- наличие трещин в кладке;
- дефекты кладки (трещины, применение боя, нарушение перевязки и т. п.) под опорами балок, прогонов и т. д.;
- ослабление сечения кладки непроектными проемами, штрабами, бороздами, нишами и т. д.;
- возведение вышележащих этажей до укладки плит перекрытия, их анкеровки и замоноличивания швов;
- пустошовка;
- нарушение горизонтальности рядов (на каждые 10 м длины – не более 15 мм);

Почти все перечисленные дефекты, кроме первого, более или менее видимы и могут быть оценены количественно. Однако неоднородность растворной постели, оказывающая наибольшее влияние на прочность кладки, является скрытым, труднооцениваемым дефектом. Основными факторами, способствующими появлению и развитию неоднородности растворной постели, являются:

- выполнение кладочных работ каменщиками низкой квалификации;
- применение жестких цементных растворов;
- отсутствие подвижных растворов с пластифицирующими добавками;
- допускание заужения горизонтальных швов (менее 12 мм);
- отсутствие в сильно нагруженных конструкциях конструктивного сетчатого армирования;
- применение обожженного кирпича в летнее время в кладке без предварительного увлажнения.

Занижение марки камня и раствора приводит к снижению прочности кладки. При этом прочность камня влияет на прочность кладки больше, чем прочность раствора. Снижение прочности раствора сказывается на прочности кладки тем сильнее, чем ниже высота камня. От прочности раствора больше зависит прочность кладки из камней неправильной формы, чем из камней с формой правильного параллелепипеда. Наименьшее значение прочность раствора имеет в кладке из крупных блоков, наибольшее – в бутовой кладке. Недопустимо использование раствора, процесс схватывания которого уже начался; это приведет к потере несущей способности кладки. Все это следует принимать во внимание при оценке влияния допущенных отступлений в марках камня и раствора на прочность кладки.

Применение видов камней и раствора, не предусмотренных проектом, может вызвать серьезные последствия. Недопустимо использование камня, имеющего морозостойкость меньше проектной, силикатного кирпича вместо глиняного обыкновенного во влажных условиях и при низких расчетных температурах без изменения толщины наружных стен, полнотелого кирпича вместо пустотелого, тяжелого раствора в наружных

ограждающих конструкциях вместо легкого и т. п. Такие замены могут привести к разрушению каменных конструкций и промерзанию наружных ограждений зданий. К снижению несущей способности кладки ведет использование большого количества кирпича-половняка.

Применение неправильной перевязки кирпича (например, кладка столбов "в корзинку"), нарушающей связь верстовых рядов с забутовкой, заполнение забутовки стен кирпичным боем могут вызвать обрушение сильно нагруженных столбов и простенков. Отсутствие перевязки наружной версты с забутовкой при кладке в зимних условиях методом замораживания приводит к обрушению наружного слоя стены при оттаивании кладки. Несоблюдение требований по раскладке тычковых рядов в кладке, несоответствие кирпичей в тычковых рядах нормативным требованиям по прочности ведет к разрушению опорных узлов.

Часто встречающийся дефект – отсутствие перевязки продольных стен с поперечными – снижает устойчивость участков стен и пространственную жесткость здания. При неравномерной осадке основания при этом создается возможность для обрушения стен.

Пропуск или занижение сечений связей стен с колоннами и перекрытиями также уменьшает пространственную жесткость здания, что при появлении горизонтальных усилий может закончиться обрушением участков стен. Некачественное выполнение кладки стен и анкерки стен с колоннами и перекрытиями в случае аварийного локального разрушения стены значительно увеличивает объем разрушения здания.

Утолщение горизонтальных швов кладки по сравнению с требуемыми нормами по-разному может влиять на прочность кладки. С одной стороны, такое утолщение позволяет улучшить растворную постель под камнем, что приводит к повышению прочности кладки. С другой стороны, чем толще горизонтальный шов, тем больше растягивающие усилия в камне из-за разных деформативных свойств камня и раствора. В зависимости от того, какой из двух факторов оказывает большее влияние при утолщении горизонтального шва, происходит повышение или понижение прочности кладки. Утолщение горизонтальных швов до 30–40 мм снижает прочность кирпичной кладки на 10–15 %. Эти данные приводятся для кладки, выполняемой каменщиком средней квалификации на пластичных растворах. Если кладка ведется каменщиком низкой квалификации, то ее прочность будет выше при толщине горизонтальных швов 15–20 мм, чем при толщине 10–12 мм.

При оценке допустимости применения утолщенных швов следует также учитывать и то, что раствор обычно имеет большую плотность, чем кирпич, и, следовательно, повышение доли раствора в кладке вызовет повышение ее теплопроводности. Нужно иметь также в виду, что утолщение швов приводит к значительному перерасходу цемента.

Плохое заполнение вертикальных швов уменьшает прочность кладки, поскольку раствор в вертикальных швах препятствует свободной деформации камня в горизонтальном направлении в случае приложения вертикальной нагрузки. Пустые вертикальные швы, кроме того, являются концентраторами напряжений. Кладка с плохо заполненными швами становится легко продуваемой, ее теплопроводность существенно возрастает.

Нарушение вертикальности участков кладки увеличивает эксцентриситет прилагаемой нагрузки и повышает внутренние усилия в кладке. Если продольные стены надежно перевязаны с поперечными, имеется надежная анкеровка всех стен в перекрытиях и перекрытия хорошо омоноличены, то дополнительные усилия в наклонных участках стен незначительны. При отсутствии перевязки продольных и поперечных стен и недостаточной анкеровке их к перекрытиям дополнительные усилия в наклонных участках стен и в столбах могут достигать больших значений, особенно в простенках и столбах малого сечения.

Укладка балок и прогонов непосредственно на каменные стены или столбы без опорных плит так же, как и недостаточное опирание плит перекрытий и перемычек, может вызвать местное разрушение каменной кладки. К примеру, при опирании балки шириной 12 см и заделки ее в стену на 25 см, кирпиче М100 и растворе М50 расчетное сопротивление кладки на местное сжатие составляет 4,5 МПа, а расчетное краевое опорное давление балки может быть больше 100 кН. К разрушению опорных узлов может привести опирание балок, прогонов, плит перекрытия, балконов и других сборных конструкций на ложковые ряды несущих стен.

Значительное влияние на несущую способность каменной кладки оказывает поперечное сетчатое армирование. Его отсутствие в местах разрыва каменной кладки вертикальной штрабой снижает несущую способность кладки. В зависимости от количества поперечного армирования прочность армированной кладки может до двух раз превышать прочность неармированной.

Пропуск только одной сетки уменьшает эффект армирования в два раза.

Применение сеток с размерами менее сечения армируемого элемента не позволяет после выполнения кладки визуально проверить все параметры армирования: диаметр стержней, размер ячеек и шаг сеток.

Некачественное выполнение металлических покрытий парапетов, карнизов, поясков, а также примыкание кровли к стенам приводит к переувлажнению каменной кладки и разрушению ее при воздействии отрицательных температур.

При устройстве температурных, осадочных и антисейсмических швов встречаются следующие дефекты:

- отклонение швов от вертикали;
- выполнение шва не по всей высоте конструкции;
- устройство шва без четверти или шпунта.

Если отклонение от вертикали или пропуск по высоте имеет осадочный шов, то он перестает отвечать своему назначению. При неравномерной осадке фундаментов стена в области дефектного шва получает разрушения. При отсутствии четверти или шпунта шов становится продуваемым, участок стены приобретает возможность перемещаться перпендикулярно к плоскости стены.

При производстве работ в зимних условиях встречаются случаи применения не очищенного от снега и льда камня, занижения требуемых марок раствора, неправильной дозировки противоморозных добавок. Все это в той или иной степени снижает конечную прочность кладки после ее оттаивания. Обрушение кладок, выполненных в зимних условиях, чаще всего происходит из-за того, что на период оттаивания кладки не принимаются необходимые меры по временному усилению каменных конструкций, обеспечению равномерного их оттаивания.

Недопустимо в проекте применение в пределах одного этажа нескольких марок кирпича и раствора. В пределах одного этажа должны применяться как кирпич, так и раствор только одной марки. В противном случае в конструкциях, в которых предусмотрены более высокие марки кирпича и раствора, может быть уложен кирпич и раствор более низких марок.

Потеря устойчивости кирпичных стен происходит при выполнении каменной кладки последующего этажа до укладки несущих конструкций перекрытий возведенного этажа, анкеровки их в стены и замоноличивания швов между плитами перекрытий.

Высота возведения стен и перегородок, а также разность высот выполненной кладки на наружных и внутренних стенах, превышающих нормативные величины, приводит к потере устойчивости стен и перегородок.

Ослабление каменных конструкций не предусмотренными проектом отверстиями, бороздами, нишами, монтажными проемами ведет к снижению прочности кладки.

Невыполнение горизонтальной гидроизоляции стен приводит к переувлажнению кладки.

## **2.4 Железобетонные конструкции**

Всем железобетонным конструкциям, независимо от вида и способа формирования могут быть присущи следующие основные дефекты бетона:

- каверны;
- раковины;
- сколы;
- трещины;
- вздутия;
- пустоты;
- повышенная пористость поверхностного слоя;
- необработанные рабочие швы и разрывы;
- расслоение;
- отслоение верхнего слоя бетона;
- высокая истираемость;
- выцветивание;
- пыление.

Каверна – это дефект, заключающийся в разрыве сплошности материала (пустоте), не выходящий на поверхность элемента. Каверны на поверхности конструкций возникают вследствие вовлечения воздушных пузырьков в бетон и раствор, вмятин или выступов нестроганой опалубки, скопления при вибрировании наиболее жидкой части цементного теста и раствора на поверхности конструкций, усадки смеси при повышенных и резких температурных режимах обработки бетона, рябоватости и неоднородности структуры. Каверны также могут появляться при бетонировании конструкций в металлической опалубке из-за отсутствия отсоса влаги и недостаточного уплотнения смеси.

Раковина – дефект, заключающийся в разрыве сплошности материала (пустоте), выходящий на поверхность материала.

Раковины могут быть поверхностные, глубинные и сквозные; одиночные или семейство раковин. Образование раковин вызывается технологическими (несоблюдение правил подбора состава бетона, расслоение бетонной смеси при длительном транспортировании, неправильная укладка и уплотнение смеси) и конструктивными (насыщенность конструкций и узлов гибкой и жесткой арматурой, малый защитный слой, оголение металла, сложное скопление закладных металлических деталей в сопряжениях элементов конструкций) причинами. Образование на поверхности конусообразных раковин диаметром от 10 до 50 мм происходит из-за разбухания щелочеактивных наполнителей и глиноземных компонентов под действием влаги или жидких химических веществ.

Скол – это дефект, заключающийся в разрыве сплошности материала (пустоте), выходящий на поверхность элемента и образовавшийся вследствие механических воздействий.

Сколы в бетоне чаще всего возникают от механических повреждений при распалубке недостаточно окрепшего бетона, транспортировании, складировании или монтаже конструкций. В углах колонн возможны

сколы и при повышенных размерах защитного слоя. Своеобразные сколы бетона можно наблюдать в колоннах со сферическими опорами. Эти сколы проходят вдоль стержней в нижних и верхних краях опор, возникают при монтаже и в процессе сварки, выверки и особенно при оттяжке колонн, когда они уже сварены между собой. Из-за некачественного армирования или смещения арматуры могут появиться сколы бетона в консолях колонн и подстропильных балках. Обычно часть заполнителя находится на дне скола, а вторая часть – на сколотом кусочке. Причина – это пористый заполнитель с высокой абсорбцией и маленьким удельным весом. Из-за проникновения влаги в заполнитель он разбухает и создает давление в бетоне, способное его разорвать. Такого вида сколы характерны для пирита, высокообжигового доломита, угля, глинистого сланца, мягкого и кремнистого известняков. Сколы также могут возникать из-за давления воды расширяющегося геля, который образуется во время химической реакции между щелочными гидроксидами в бетоне и активным кремнистым заполнителем.

Трещина – это дефект, заключающийся в разрыве сплошности материала, выходящий на поверхность элемента. Образование трещин в бетоне может быть результатом нарушений технологии или внешних воздействий.

Трещины, образующиеся до набора бетоном достаточной прочности, являются результатом усадки, вызванной быстрой потерей воды, пока бетон еще пластичный. Усадочные трещины могут возникнуть в местах нахождения арматуры или стыка с затвердевшим бетоном из-за недостаточного виброуплотнения бетонной смеси, высокого оползания, или недостаточной толщины защитного слоя бетона над арматурой.

Трещины пластического сжатия относительно короткие, возникают перед последней финишной обработкой в ветреные дни, при низкой влажности и высокой температуре. Влага с поверхности испаряется быстрее, чем подтягивается снизу, заставляя бетон сверху сжиматься быстрее, чем снизу.

Трещины, появляющиеся после затвердевания, – результат усадочного высыхания, термического сжатия, усадки подосновы. Высыхая, бетон сжимается на 1,6 мм на 3 м длины.

С увеличением количества воды в бетоне пропорционально увеличивается усадка. Увеличение количества песка и уменьшение крупного заполнителя также ведут к увеличению усадки, т. к. возрастает количество воды, а мелкий заполнитель имеет меньшую усадочную стойкость. Использование добавок хлорида кальция также увеличивает усадку.

Волосяные трещины – это сеть мелких поверхностных трещин, появляющихся вследствие небольшого поверхностного сжатия. Волосяные трещины окружают маленькие участки поверхности менее 50

мм. Эти трещины не означают начала разрушения бетона. Они появляются из-за климатических условий, особенно при повышенной относительной влажности, жаре и ветре в период высыхания бетона, если не соблюдались условия твердения бетона.

Вздутие – дефект, вызванный пузырьками вовлеченного воздуха, которые поднимаются, но не могут проникнуть через уже герметичную поверхность. Причинами образования вздутий являются:

- избыточное количество вовлеченного воздуха, удерживаемого высоким процентом мелкофракционных материалов, приводящее к получению липкого цемента, который можно легче загерметизировать на ранней стадии. Липкие смеси имеют тенденцию к образованию корки при высыхании на ветру, при этом внизу смесь остается пластичной, и воздух поднимается вверх;

- недостаточная вибрация при уплотнении, не позволяющая воздуху высвобождаться, или избыточная вибрация, оставляющая на поверхности пыль, что способствует образованию корки;

- финишная отделка, когда бетон еще пористый. Любой инструмент, используемый для финишной отделки, заставляет вовлеченный воздух подниматься к поверхности.

Пустоты в железобетонных конструкциях представляют собой участки, где образуются полости неопределенных размеров при полном отсутствии бетона. Пустоты чаще всего возникают в конструкциях, насыщенных жесткой и гибкой арматурой, в местах скопления и пересечения закладных деталей, при бетонировании тонкостенных конструкций, обетонировании колонн с жесткой арматурой, заполнении бетоном асбестоцементных и металлических труб, при недостаточном уплотнении, зависании бетона в бетонируемых конструкциях, а также при сложном профиле примыканий элементов друг к другу.

Повышенная пористость поверхностного слоя встречается при замерзании бетона до достижения критической прочности. Если бетон не прошел необходимой тепловой обработки в начальный период твердения, он при оттепелях способен впитывать талую и дождевую воду, которая при последующем замораживании делает его структуру еще более рыхлой. Многократное повторение процессов оттаивания и замораживания бетона приводит к полному или частичному разрушению структуры материала. Поверхностное шелушение бетона сопровождается отделением лицевого слоя до 1–3 мм, при более интенсивном нарушении отслаивается бетон на глубину 4–7 см и арматура обнажается. В колоннах, подколонниках, фундаментах нарушение и распад поверхностного слоя при неблагоприятных условиях твердения бетона на морозе распространяется на глубину 10–30 см. Признаками подобных разрушений бетона является нарушение сцепления крупного заполнителя с раствором, набухание и «пучение»

бетона, отделение лещадок, частичная или полная потеря бетоном механической прочности.

Необработанные рабочие швы и разрывы. Хорошо подготовленный и обработанный рабочий шов, возникший в результате перерыва в бетонировании, обеспечивает хорошее сцепление с новым бетоном. Недостаточная подготовка поверхности снижает качество сцепления бетона, вызывает коррозию арматуры, фильтрацию грунтовых вод, снижение прочности и монолитности конструкций.

К общим недостаткам нужно отнести грубые и случайные обрывы рабочих швов без устройства организованных вертикальных выгородок в установленном проектом производства работ порядке; расплыв бетона в бетонируемой конструкции; скопление рыхлых прослоек и посторонних включений илистых налетов, строительного мусора, опилок, древесины. При вынужденных перерывах в бетонировании в зимних условиях в рабочих швах обнаруживаются прослойки рубероида и шлаковаты и другой утепляющий и защитный материал, который используется для предохранения бетона от замерзания. По недосмотру рабочих и технического персонала при возобновлении работ временно уложенный материал не удаляется. Рабочий шов с прослойками посторонних материалов снижает монолитность конструкций, возникает необходимость в удалении из швов случайных материалов.

Расслоение вызывается подтягиваемой снизу водой, которая застревает под преждевременно застывшей коркой бетонной поверхности. Первичная причина – это финишная отделка бетона до выхода воды на поверхность. При финишной отделке расслоение определить очень трудно. Оно становится заметным только после высыхания поверхности при растрескивании во время движения по бетону. Толщина расслоения – 3–5 мм. Расслоившиеся участки отделяются от лежащего под ними бетона, вызывая появление пустот.

На наружных площадках, где бетон подвержен циклам замораживания / оттаивания, расслаивание поверхности на глубину около 3 мм возможно в случае отсутствия в бетоне порообразующих (воздухововлекающих и газовыделяющих) добавок. Причиной расслаивания, хотя и относительно неглубокого, могут быть, как и в случае пыления поверхности, нарушения технологии отделки свежееуложенного бетона и неадекватный уход за ним.

Отслоение верхнего слоя бетона происходит, если он на поверхности не имеет требуемой прочности. Причины – низкое содержание цемента в бетонной смеси, высокое водоцементное отношение, избыточная шлифовка поверхности, неадекватный уход за бетоном, карбонизация и замерзание бетона до набора достаточной прочности.

Аналогичны причины возникновения высокой истираемости.



Выцветивание бетона – это большие участки бетона, имеющие более темную или светлую поверхность.

На выцветивание влияют смеси хлорида кальция, щелочные цементы, сильная затирка поверхности, изменения в бетонной смеси.

Хлорид кальция ускоряет гидратацию силикатов, что замедляет гидратацию феррита в портландцементе. Ферритовая составляющая обычно становится светлее при гидратации, однако в присутствии хлорида кальция непрогидратированный феррит остается темным.

Полиэтиленовые пленки, используемые для обеспечения условий влажного твердения бетона, содержащего хлорид кальция, создают пятна на поверхности, т. к. очень трудно уложить пленку прилегающей ко всей поверхности. Участки, контактирующие с пленкой, будут светлее, чем неконтактирующие.

Пыление – это результат образования тонкого, слабого слоя, называемого «молочком», состоящего из воды, цемента и тонких частиц.

Во время застывания бетона цемент и частицы заполнителя частично образуют взвесь в воде. Так как цемент и заполнитель тяжелее воды, они стремятся осесть. По мере оседания они выталкивают воду ближе к поверхности таким образом, что количество воды у и на поверхности больше, чем в нижних слоях. И молочко, самый слабый и нестойкий материал, оказывается на поверхности (т. е. причина – низкая прочность цементного слоя).

Затирка бетона с выступившей на поверхность водой заставляет воду проникать назад в бетон, еще более ослабляя поверхность и создавая условия для пыления.

Пыление также может быть вызвано:

- водой, нанесенной во время затирки;
- намоканием от дождя во время затирки;
- распределением сухого цемента на поверхность для ускорения затирки;
- низким содержанием цемента;
- переувлажнением смеси;
- неправильным твердением (слишком быстрым высыханием поверхности);
- карбонизацией во время бетонирования зимой;
- замерзанием поверхности;
- грязным заполнителем.

#### **2.4.1 Стеновые панели крупнопанельных зданий**

**2.4.1.1 Изготовление стеновых панелей.** Основными дефектами изготовления стеновых панелей являются:

- снижение прочности бетона панелей;
- трещины и сколы бетона в панелях;
- образование усадочных трещин;

- отступление от проектных размеров, превышающих допуски;
- пропуск или выполнение закладных деталей не в соответствии с проектом;
- несоответствие диаметра, количества, марок и классов стали арматурных стержней, а также их положения в сечении элемента проектным условиям;
- несоответствие выпусков арматуры в стыковых узлах элементов проекту;
- надрезы, выбоины, вмятины в арматуре, закладных деталях;
- несоответствие проектным характеристикам бетона по плотности, прочности, морозостойкости;
- несоблюдение требуемой толщины защитного слоя бетона;
- наличие инородных включений в бетоне;
- недоуплотнение бетона (образование раковин и каверн);
- нарушение рецептуры состава бетона;
- отклонение геометрических размеров от проектных сверх предусмотренных нормами;
- дефекты противокоррозионных покрытий бетона, арматуры, закладных деталей (недостаточная толщина, отсутствие на отдельных участках, применение составов, не соответствующих проектным требованиям).

Снижение прочности бетона панелей приводит к уменьшению прочности стен. Чаще всего прочность бетона панелей оказывается ниже проектной из-за нарушения режима тепловой обработки панелей. Особенно опасен монтаж зданий из панелей, не набравших нужной прочности в зимних условиях, когда этот процесс происходит медленно, а нагрузки растут быстро.

Отступление от проектных размеров стеновых панелей, превышающих допуски, затрудняют выполнение стыков панелей друг с другом и с перекрытиями. При колебании высоты панелей горизонтальный растворный шов получается разной толщины и неоднородным. Это снижает прочность стен. При колебании длины панелей невозможно выполнить вертикальные швы между ними одинаковой толщины по всей высоте здания, к тому же затрудняется герметизация этих швов. При монтаже стен из панелей разных толщин нельзя расположить их в одной плоскости либо снаружи, либо внутри здания. Выход из вертикальной плоскости наружных поверхностей отдельных стеновых панелей недопустим по архитектурным соображениям. Отступление от одной вертикальной плоскости внутренней поверхности некоторых стеновых панелей наружных стен затрудняет качественное выполнение стыка этих панелей с панелями внутренних стен.

Прочность и устойчивость крупнопанельных зданий во многом зависит от стальных связей. Поэтому всякое отступление от проекта в конструкции и расположении стальных связей приводит к снижению

прочности и пространственной жесткости здания. При этом даже увеличение сечения связи не всегда повышает несущую способность панельных стен.

Крупнопанельные здания должны быть устойчивы к прогрессирующему (цепному) разрушению в случае локального воздействия (взрыв газа или других взрывчатых веществ, пожар и т. п.). Эти требования означают, что локальные разрушения отдельных несущих конструкций не должны приводить к обрушению или разрушению соседних несущих элементов, на которые передается нагрузка, ранее воспринимавшаяся элементами, поврежденными аварийным воздействием. Устойчивость здания против прогрессирующего обрушения обеспечивается в основном за счет рационального конструирования связей между сборными элементами. Такие связи должны иметь высокую пластичность, т. е. допускать большие абсолютные деформации. Нельзя на участках анкеровки связи допускать выкалывание бетона или разрушение сварных швов. Слабейшим звеном должна быть собственно стальная связь, большие пластические деформации которой обеспечивают необходимые пластические деформации всего соединения. Поэтому если поставить связь сечением, большим проектного или меньшей длины, то может произойти выкалывание бетона у анкеров связи или разрушение ее сварных швов, что приведет к прогрессирующему разрушению здания.

Отсутствие антикоррозийного покрытия закладных деталей сокращает срок эксплуатации здания из-за преждевременного разрушения связей.

Трещины и сколы в бетоне панелей появляются обычно при небрежной распалубке и неправильном складировании стеновых панелей.

При этом часто происходит разрушение защитно-декоративного покрытия. Отколы кромок и углов панелей портят внешний вид фасада здания, усиливают проницаемость швов между панелями. Нарушение защитно-декоративного покрытия приводит к увлажнению от действия косых дождей ячеистого и легкого бетонов панелей, что может вызвать быструю коррозию арматуры панелей и увеличивает теплопроводность стен.

Сквозные вертикальные трещины не снижают несущей способности панели на действие вертикальных усилий, но увеличивают проницаемость панели. Через сквозные трещины возможно проникание влаги и воздуха. Сквозные горизонтальные трещины зажимаются действием вертикальной нагрузки, однако и зажатые они снижают жесткость панели из плоскости стены.

Наиболее опасны наклонные трещины в стеновых панелях, сильно снижающие прочность стен. Без усиления такие панели не могут быть использованы при монтаже здания.

Уменьшение расчетного проектного армирования в железобетонных панелях снижает их прочность. Уменьшение или отсутствие конструктивного армирования в бетонных панелях может привести к их разрушению при транспортировании и монтаже.

Увеличение плотности бетона по сравнению с проектным показателем снижает теплоизоляционные свойства панели. Уменьшение плотности бетона, как правило, уменьшает и его прочность.

**2.4.1.2 Монтаж стеновых панелей.** Основными дефектами монтажа стен крупнопанельных зданий являются:

- неудовлетворительное выполнение горизонтальных и вертикальных стыков панелей;

- применение для монтажа непригодных панелей.

- некачественное устройство стальных связей между панелями и между панелями и перекрытиями;

- смещение стеновых панелей из проектного положения.

Наибольшее влияние на несущую способность горизонтальных швов при сжатии, трудно оцениваемое количественно, оказывает неоднородность растворной постели, приводящая к появлению в панелях концентрации напряжений, дополнительных изгибающих моментов и эксцентриситетов в приложении сжимающих усилий. Если растворная постель выполнена с пропусками, то происходит снижение несущей способности горизонтального шва. Иногда допускаемая при монтаже установка жестких прокладок в горизонтальном шве может уменьшить его прочность при сжатии на 90 %.

С увеличением толщины растворных швов происходит некоторое снижение их прочности. Так, при толщине горизонтального шва 30 мм его прочность на сжатие оказывается меньше несущей способности шва толщиной 20 мм (обычно принимаемой в проектах) в зависимости от типа панели и прочности раствора всего на 4–13 %.

Несущая способность платформенных и контактных стыков мало зависит от прочности раствора в швах. Если взять за исходную прочность раствора  $R = 10$  МПа, обычно принимаемую для крупнопанельных зданий, то при уменьшении прочности раствора до 2,5 МПа прочность опорного сечения панели снизится в зависимости от типа стыка только на 12–18 %.

Прочность плоских горизонтальных платформенных и контактных стыков при сдвиге зависит от прочности раствора и сил трения от действия вертикальных усилий. Эта прочность может оказаться недостаточной при малой прочности раствора в верхних этажах здания, где вертикальные усилия незначительны.

При монолитных стыках прочность горизонтальных швов пропорциональна прочности бетона омоноличивания.

Сопротивление сдвигу горизонтальных стыков с бетонными шпонками в большей степени зависит от прочности раствора, чем сопротивление плоских стыков.

Некачественное выполнение вертикальных стыков панелей снижает жесткость стен, увеличивает их продуваемость, а также вызывает коррозию стальных связей между панелями. Сохранность связей обеспечивается не столько их антикоррозионным покрытием (оцинкованием), сколько плотностью бетона омоноличивания. В плотном бетоне стальные неоцинкованные связи сохраняются так же долго, как арматура в железобетонных конструкциях. В то же время стальные оцинкованные связи быстро корродируют в рыхлом бетоне, особенно при попадании на него воды через вертикальные швы при косом дожде.

В колодцах вертикальных швов укладка бетона омоноличивания вручную без вибратора и после монтажа панелей предыдущих этажей вместо укладки бетона послойно с применением глубинных вибраторов не позволяет получить бетон необходимой плотности.

Невыполнение стальных связей между панелями и между панелями и перекрытиями в точном соответствии с проектом недопустимо. Как занижение, так и завышение площади поперечного сечения связей будет уменьшать устойчивость к прогрессирующему (цепному) разрушению здания в случае локального воздействия.

Если стеновая панель смонтирована с наклоном из плоскости стены, то в ней возникает дополнительные усилия. Вертикальную силу, приложенную к верху наклонной панели, можно разложить на две силы: одну горизонтальную, равную произведению вертикальной силы на тангенс угла наклона панели к вертикальной плоскости, и другую, направленную параллельно оси наклонной панели, равную частному от деления вертикальной силы на косинус этого угла. Из-за малости угла наклона можно принять, что сила, параллельная оси наклонной панели, равна вертикальной. При надежной связи наклонной панели с перекрытиями горизонтальная сила, значение которой невелико, будет воспринята конструкциями, расположенными перпендикулярно к плоскости наклонной плиты (панелями внутренних стен). Таким образом, наклонная панель будет дефектной в основном с эстетической точки зрения.

При смещении панелей с проектных осей в пределах соседних этажей появляется дополнительный эксцентриситет в приложении вертикальных усилий. Платформенные и монолитные стыки при этом несколько смягчают влияние смещения панелей, уменьшая эксцентриситет приложения нагрузки за счет включения в работу плит перекрытия. Контактные и контактно-платформенные стыки стеновых панелей этим свойством не обладают, и при возведении стен и панелей с такими стыками требуется повышенное внимание к точности монтажа.

Применение для монтажа панелей наружных и внутренних стен с трещинами, в том числе сквозными и наклонными, не относящимися к категории местных поверхностных усадочных трещин, со смещенными от проектного положения закладными деталями ведет к снижению деформационных свойств здания.

Панели наружных стен, имеющие сверхнормативные раковины и сколы ребер бетона на участках, предназначенных для образования герметизируемых зон в стыках и устройства оклеечной воздухоизоляции снижают теплотехнические свойства здания.

К деформациям в конструкциях и узлах ведет использование материалов для маяков, прочность которых превышает установленную проектом прочность раствора постели на сжатие, а также несоблюдение нормируемой толщины маяков и отклонение отметок маяков относительно монтажного горизонта.

#### **2.4.2 Стыки и швы**

Дефекты устройства стыков и швов:

- несоответствие требованиям проекта классов бетона и марок раствора, примененных для замоноличивания стыков и швов;

- выполнение бетонирования без уплотнения, с пустотами и обнажением арматуры;

- невыполнение требований проекта по применению прогрева замоноличенных стыков и швов в зимних условиях;

- выполнение соединений и наклейки воздухозащитных лент с пропусками, встык, с обратной нахлесткой, с пузырями, вздутиями и складками;

- установка уплотняющих прокладок с разрывом, без обжатия до требуемой величины;

- нанесение герметизирующей мастики в устье стыка с разрывами, пустотами, наплывами толщиной, превышающей проектную.

При несоответствии класса бетона и марки раствора, применяемых для замоноличивания стыков и швов требованиям проекта, бетонировании, выполненном без уплотнения, с пустотами и обнажением арматуры, невыполнении требования проекта по применению прогрева замоноличенных стыков и швов в зимних условиях возникают деформации в соединениях.

Несоблюдение технологии соединения и наклейки воздухозащитных лент, установки уплотняющих прокладок, нанесения герметизирующих мастик (фактическое сопротивление мастик отрыву от поверхности панели не соответствует показателям, приведенным в стандартах и технических условиях) ведет к протечкам, продуванию и промерзанию стыков.

#### **2.4.3 Колонны**

**2.4.3.1 Изготовление колонн.** При изготовлении железобетонных колонн возможно появление различных дефектов. Основными из них являются:

- снижение прочности бетона;
- наличие трещин, сколов и каверн в бетоне;
- несоответствие диаметра, количества, марок и классов стали арматурных стержней, а также их положения в сечении элемента проектным условиям;
- пропуск или смещение закладных деталей;
- несоответствие выпусков арматуры в стыковых узлах элемента проектному положению;
- несоблюдение толщины защитного слоя бетона, предусмотренного нормами;
- отклонение геометрических размеров от проектных значений сверх предусмотренных нормами;
- надрезы, выбоины, вмятины в арматуре, закладных деталях;
- наличие инородных включений в бетоне;
- образование усадочных трещин;
- отсутствие или недостаточное сцепление между уложенными в разное время слоями бетона;
- нарушение рецептуры состава бетона;
- дефекты противокоррозионных покрытий бетона, арматуры, закладных деталей (недостаточная толщина, отсутствие на отдельных участках, изменение составов, не соответствующих проектным требованиям).

Уменьшение количества стержней и их диаметра или применение менее прочной стали без соответствующего увеличения площади сечения арматуры приводит к снижению прочности колонн, и тем сильнее, чем с большим эксцентриситетом приложено продольное усилие. В связи с этим в колоннах крайних рядов при одинаковом уменьшении армирования обычно происходит большее снижение прочности, чем в колоннах средних рядов.

Увеличение шага поперечных стержней по сравнению с проектом может вызвать потерю устойчивости продольной арматуры и разрушение колонн.

Использование укороченных по сравнению с проектом арматурных каркасов или смещение их вдоль оси колонн может привести к невозможности ванной сварки выпусков арматуры в стыках элементов колонн, так как зазор между стержнями в этом случае будет больше допустимого.

Уменьшение прочности бетона снижает прочность колонн, и тем больше, чем меньше эксцентриситет приложения усилия и меньше коэффициент армирования.

Смещение закладных деталей от проектного положения или их пропуск в колоннах делает невозможным нормальное присоединение к ним ригелей, стеновых панелей, связей.

Уменьшение толщины защитного слоя снижает долговечность колонн, особенно при эксплуатации их во влажной или агрессивной среде.

Несоблюдение толщины защитного слоя бетона обычно вызывается смещением арматуры каркаса из проектного положения, что создает дополнительный эксцентриситет в приложении продольных усилий.

Трещины в колоннах могут проявляться при повышенном водоцементном отношении из-за усадки бетона, нарушения режима тепловой обработки, слишком ранней или неправильной распалубки, несоблюдения правил складирования и перевозки готовых элементов. Существенным недостатком изготовления сборных железобетонных элементов, ведущим к образованию трещин, является использование для бетонов цементов с повышенной усадкой. Продольные усадочные трещины могут снизить прочность колонны. Нормальные трещины, кроме усадочных, если они появились в зоне, сжатой при эксплуатационных нагрузках, впоследствии закрываются. Они мало сказываются на прочности колонн, однако при этом происходит снижение жесткости элемента (иногда недопустимое).

К большим дефектам относится откол бетонных выступов на торцах колонн в каркасах серии 1.020-1, что снижает прочность колонн, особенно в период монтажа каркаса (до омоноличивания стыка).

Отклонения по длине колонны вызывают трудности при обеспечении горизонтальности перекрытий и подкрановых балок.

**2.4.3.2 Монтаж колонн.** Наиболее часто встречаются следующие дефекты монтажа железобетонных колонн:

- отклонение оси колонны от вертикали;
- смещение колонн в плане;
- омоноличивание стыков колонн бетоном низкого качества;
- несоблюдение высотных отметок верха колонн и их консольных выступов;
- неправильное выполнение соединений элементов колонн друг с другом и с фундаментом;
- замена ванной сварки на дуговую с накладками в стыках элементов колонн, уменьшение сечения и длины сварных швов, наложение сварных швов с разрывами и раковинами;
- нарушение требуемой последовательности монтажа железобетонных элементов каркаса и вертикальных связей;
- замораживание в раннем возрасте бетона омоноличивания при производстве работ в зимнее время, пересушка бетона омоноличивания в летнее время;
- недостаточная ширина опирания элементов;



– применение для монтажа элементов и конструкций с ярко выраженными дефектами.

Отклонение от вертикали колонн и смещение их с проектных осей вызывается обычно смещением из проектного положения фундаментов и применением конструкций перекрытий непроектной длины. Типовые решения фундаментов с подколонниками стаканного типа допускают смещение фундаментов с разбивочных осей без смещения колонн из проектного положения до 50 мм. При большем смещении фундамента подошва колонны не может быть расположена в проектном положении, поэтому для возможности нормального опирания конструкций перекрытий колонна при монтаже наклоняется. То же происходит при использовании конструкций перекрытий (ригелей, плит) непроектных размеров.

Отклонение колонн от вертикали создает дополнительные эксцентриситеты в приложении продольных сил, вызывает косое внецентренное сжатие (при отклонении колонн из плоскости поперечной рамы), что снижает несущую способность каркаса.

При отклонении колонн от вертикали в рамах каркаса возникают дополнительные горизонтальные усилия. При достаточной жесткости дисков перекрытий дополнительные горизонтальные усилия распределяются между всеми стойками температурно-усадочного блока, что снижает их отрицательное воздействие в отклонившихся колоннах. Вот почему так важно обеспечить монолитность дисков перекрытий и надежную их связь с колоннами.

Если колонна смещена в плане в плоскости поперечной рамы и установлена вертикально, то это приводит к неправильному опиранию балок на колонны. Недостаточная длина площади опирания может вызвать разрушение балки по наклонному сечению или скол опорной части колонны.

Несовпадение по высоте отметок верха колонн и их консольных выступов связано обычно с ошибками в отметках дна стакана фундамента и применением колонн непроектной длины. Вследствие данного дефекта конструкции перекрытий и подкрановые балки могут получить недопустимые уклоны, к тому же могут появиться затруднения при выполнении сопряжений колонн с ригелями.

Несовпадение оголовков колонн в их стыковых соединениях приводит к возникновению дополнительных сосредоточенных изгибаемых моментов, снижающих прочность как стыка, так и колонны в целом.

Некачественное омоноличивание стыка колонны с фундаментом (когда применяется раствор вместо мелкозернистого бетона, в стакане оставляются монтажные деревянные клинья, замораживается бетон омоноличивания) снижает степень заделки колонны в фундаменте, что

изменяет в неблагоприятном направлении расчетную схему рам каркаса и уменьшает пространственную жесткость здания в целом.

Замена ванной сварки выпусков арматуры на дуговую с протяженными швами с накладками из круглой стали происходит чаще всего из-за наличия такой несоосности выпусков, которая не позволяет выполнить ванную сварку в инвентарных медных формах. При этом часто делают одностороннюю накладку, что вызывает большой эксцентриситет приложения усилия в арматуре и снижает несущую способность стыка. Если используются парные накладки и длина их меньше восьми диаметров продольной арматуры, то стык имеет пониженную прочность, так как в этом случае не удается применить двусторонние швы из-за недоступности плоскостей контакта стержня и накладки со стороны ниши колонн.

При осуществлении стыков арматурных стержней протяженными швами с накладками часто начинают сварной шов на выпуске арматурного стержня и заканчивают на накладке у зазора между торцами выпусков (т. е. начинают и кончают сварной шов в наиболее напряженном месте элемента стыка без заварки раковин в концах шва). Это резко ослабляет прочность стыка за счет подрезки арматурного стержня и накладки. Начало шва на накладке и заканчивание на стыковом выпуске стержня у его торца, даже при отсутствии заварки раковин на концах шва, позволяет не допустить снижения прочности соединения.

Неправильная последовательность сварки выпусков арматуры колонн приводит к отклонению элементов колонны от вертикали за счет температурного воздействия сварного шва. Переходить от сварки одного выпуска арматуры к другому нужно по диагональной плоскости сечения колонн.

Вертикальные связи здания нужно выполнять одновременно с монтажом железобетонных элементов каркаса. Часто вертикальные связи ставят после окончания монтажа всего каркаса. Это не обеспечивает пространственную жесткость каркаса в период его монтажа. Кроме того, при этом колонны с закладными деталями для крепления вертикальных связей могут быть по ошибке смонтированы в других пролетах, что будет замечено уже после монтажа каркаса.

Применение для омоноличивания стыков колонн бетона низкого качества, его раннее замораживание зимой и пересушивание при твердении летом значительно снижают несущую способность колонн.

В каркасах серии 1.020.1 должна выполняться зачеканка цементным раствором зазора между торцами элементов колонн. В случаях, когда такая зачеканка не производится и зазор заполняется бетоном омоноличивания стыка, укладываемым в ниши, снижается прочность стыка.

## 2.4.4 Балки (ригели)

**2.4.4.1 Изготовление балок (ригелей).** При изготовлении сборных железобетонных стропильных балок покрытия и ригелей наиболее часто встречаются следующие дефекты:

- нарушение рецептуры состава бетона;
- образование усадочных трещин;
- наличие инородных включений в бетоне;
- несоответствие диаметров марок и классов стали арматурных стержней, а также их положения проектным данным;
- снижение прочности бетона по сравнению с проектной;
- пропуск или смещение закладных деталей или выпусков арматуры;
- некачественное заполнение раствором каналов для высокопрочной предварительно напряженной арматуры;
- недостаточная или некачественная анкеровка арматуры;
- отступления геометрических размеров от проектных, превышающие допуски;
- наличие трещин, сколов, каверн в бетоне;
- отклонение величины предварительного напряжения арматуры от значений, принятых в проекте;
- надрезы, выбоины, вмятины в арматуре, закладных деталях;
- несоблюдение требуемой толщины защитного слоя бетона;
- дефекты противокоррозионных покрытий бетона, закладных деталей, арматуры (недостаточная толщина, отсутствие на отдельных участках, применение составов, не соответствующих проектным требованиям).

Несоответствие диаметров и классов арматурных стержней проектным чаще всего возникает из-за отсутствия на заводе-изготовителе арматурных стержней, предусмотренных проектом, что и приводит к вынужденной их замене. Замена арматурных стержней в основном осуществляется исходя из условия прочности, т. е. площадь их поперечных сечений изменяется пропорционально расчетному сопротивлению арматурной стали. Количество продольных стержней и шаг поперечной арматуры в большинстве случаев не могут быть изменены. Если производится замена менее прочной арматуры на более прочную, то по условию прочности устанавливается арматура меньшего диаметра, что увеличивает напряжение в ней. Рост напряжений в арматуре приводит к увеличению ширины раскрытия трещин в бетоне и прогибов.

Установка продольных арматурных стержней большего диаметра, чем предусмотрено проектом, без проверки на свариваемость их с поперечной арматурой приводит к снижению прочности сварных соединений.

При замене стержней предварительно напряженной арматуры необходимо следить и за сохранением величин усилий предварительного обжатия бетона. При осуществлении натяжения арматуры электротермическим способом изменение диаметра при сохранении количества продольных стержней должно сопровождаться соответствующей корректировкой расстояния между анкерами на арматуре (или между упорами на опалубочной форме). При уменьшении диаметра стержней расстояние между анкерами должно уменьшаться, чтобы возросло предварительное напряжение, а при увеличении диаметра стержней, наоборот, увеличиваться. Невыполнение данных условий приводит к выпуску изделий недостаточно трещиностойких и менее жестких, чем требуется, либо к появлению возможности раздавливания бетона при отпуске напрягаемой арматуры.

Произвольное уменьшение прочности или площади поперечного сечения продольной растянутой арматуры снижает почти пропорционально прочность нормальных сечений балок (ригелей), а также их жесткость. Уменьшение интенсивности поперечной арматуры снижает прочность наклонных сечений балок (ригелей). При увеличении шага поперечной арматуры не только происходит снижение прочности наклонных сечений балок (ригелей), но и появляется опасность потери устойчивости продольных стержней, установленных в сжатой зоне железобетонных элементов.

Если допускается смещение арматурного каркаса из проектного положения, то изменяется защитный слой бетона. Уменьшение защитного слоя бетона снижает долговечность конструкции. Увеличение защитного слоя обычно связано с уменьшением рабочей высоты сечения, что снижает несущую способность сечения балок (ригелей).

Смещение арматурного каркаса в ригелях каркасных зданий серии 1.420-12 вызывает несоосность выпусков арматуры из ригелей и колонн. Несоосность этих выпусков приводит к снижению предельного изгибающего момента в опорных сечениях ригелей и увеличению пролетных моментов. При этом пролетные изгибающие моменты могут возрасти до двух раз.

При изготовлении балок (ригелей) в результате недостаточного контроля может быть допущена укладка менее прочного, чем предусмотрено проектом, бетона. На монтаж могут поступать и элементы, прочность бетона которых ниже проектной из-за нарушения технологии тепловой обработки. Снижение прочности бетона в большей степени сказывается на прочности наклонных сечений и в меньшей – на прочности нормальных сечений.

Пропуск и смещение закладных деталей в балках (ригелях) не позволяет приваривать закладные детали плит к закладным деталям элементов. При этом появляется возможность потери устойчивости

сжатого пояса элементов покрытия и снижается горизонтальная жесткость диска перекрытия (покрытия), что отрицательно сказывается на пространственной жесткости каркаса и приводит к увеличению усилий в колоннах.

Некачественное заполнение раствором каналов для предварительно напряженной арматуры повышает опасность ее коррозии и увеличивает деформации конструкции.

Отклонение геометрических размеров балок (ригелей) от проектных затрудняет или делает невозможным присоединение к смежным конструкциям (колоннам, плитам) и снижает их прочность.

Трещины, образующиеся в балках (ригелях) при неправильном их складировании, снижают их эксплуатационные свойства. Нормальные трещины, образовавшиеся в сжатой при эксплуатации зоне, обычно после монтажа закрываются и мало сказываются на прочности элементов. Однако при этом снижается изгибная жесткость и увеличивается прогиб элементов до 15 %. Эти трещины также увеличивают опасность коррозии арматуры.

Нормальные трещины в стропильных балках, пересекающие всю их высоту, особенно сильно понижают жесткость балок в горизонтальной плоскости, что может привести к разрушению балок в процессе монтажа.

От значения предварительного напряжения арматуры зависит трещиностойкость и жесткость элемента, его прочность при изготовлении и монтаже.

Ошибки, допущенные при изготовлении предварительно напряженных балок (ригелей), а также, как это было отмечено ранее, при замене проектной арматуры без учета изменения предварительного напряжения в ней, приводят к уменьшению проектного значения предварительного напряжения арматуры.

Недостаточный прогрев бетона балок на торцевых участках на протяженных стендах с паровой рубашкой приводит к снижению прочности бетона в этих зонах (особенно при морозах), нарушению анкеровки предварительно напряженной арматуры и к последующему разрушению опорных зон балок.

**2.4.4.2 Монтаж балок (ригелей).** При монтаже сборных железобетонных балок покрытия и ригелей наиболее часто встречаются следующие дефекты:

- дефекты сварных швов;
- смещение балок (ригелей) в плоскости поперечных рам;
- смещение осей балок (ригелей) с осей колонн (перпендикулярно поперечным рамам);
- неправильное выполнение соединения балок (ригелей) с колоннами;
- укладка балок (ригелей) на кирпичные стены без устройства опорной подушки;
- отклонение плоскости балок (ригелей) от вертикальной плоскости;

- недостаточная площадь опирания балок (ригелей);
- использование при монтаже явно дефектных балок (ригелей).

Смещение осей балок (ригелей) с осей колонн происходит обычно из-за смещения колонн в горизонтальной плоскости, отклонения колонн от вертикали или применение плит перекрытий непроектной длины. Это вызывает появление дополнительных усилий в колоннах – изгибающих моментов, действующих перпендикулярно к плоскости поперечных рам. Колонны при этом начинают работать на косое внецентренное сжатие. Несущая способность их снижается и тем больше, чем хуже выполнено омоноличивание стыков плит перекрытия.

При увеличении против проекта шага балок (ригелей) нарушаются нормальные условия опирания на них плит. При сокращении шага ригелей не удастся разместить между ними плиты перекрытий. Уменьшение или увеличение шага стропильных балок делает невозможным нормальное опирание на них плит.

При смещении балок (ригелей) в плоскости поперечных рам на одной из их опор длина площадки опирания оказывается меньше проектной (при проектном расстоянии между осями колонн). При этом появляется опасность продергивания продольной арматуры у этой опоры, возникновения наклонной трещины и разрушения по ней балки. Кроме того, из-за малой площади опирания может произойти разрушение бетона у опоры вследствие его смятия или скалывания. У колонны, в сторону которой сместился ригель, уменьшается зазор между торцами ригеля и колонны, что не позволяет нормально омонолитить стык.

Дефектом является и несоосность выпусков арматуры в узле сопряжения ригеля с колонной в многоэтажном каркасе. Это является следствием некачественного изготовления ригелей и колонн. Однако он может быть результатом смещения ригеля из проектного положения при монтаже.

Неправильная очередность сварки закладных и накладных деталей в рамно-связевом каркасе серии ИИ-04 приводит к появлению нормальных трещин, проходящих у торцов опорных каркасов ригелей через всю их высоту.

Сваривание накладной опорной детали стропильной балки с закладной деталью колонны не по всему периметру вызывает снижение прочности соединения балки с колонной на воздействие горизонтальных нагрузок, что может стать причиной потери устойчивости положения стропильной балки.

Перекас закладной детали опорной зоны в балке (ригеле) или наверху колонны и опорной консоли приводит к отклонению плоскости балки (ригеля) от вертикального положения. Такой дефект приводит к появлению крутящих моментов, на которые балка (ригель) не рассчитана. Он более опасен для высоких стропильных балок.

## 2.4.5 Фермы

Железобетонные фермы состоят из сжатых и растянутых элементов. Работают фермы по балочной схеме. В связи с этим дефекты изготовления и монтажа железобетонных ферм аналогичны дефектам колонн и балок. И последствия допущенных дефектов ферм аналогичны последствиям соответствующих дефектов колонн и балок.

Колебания прочности растянутых элементов железобетонных ферм пропорциональны изменению количества и прочности их арматуры. Некачественная анкеровка арматуры в узлах фермы ведет к снижению их прочности, что обязывает при изготовлении ферм особое внимание уделять армированию узлов.

Складирование и перевозка железобетонных ферм возможны только в вертикальном положении.

При монтаже ферм необходимо проверить устойчивость сжатого пояса в горизонтальной плоскости до укладки плит. Если устойчивость сжатого пояса в период монтажа оказывается недостаточной, следует применять его временное усиление.

## 2.4.6 Плиты перекрытий и покрытий

**2.4.6.1 Изготовление плит.** При изготовлении плит покрытий наиболее часто встречаются дефекты, аналогичные дефектам изготовления балок (см. п. 2.4.4.1).

В тонких полках ребристых плит арматурная сетка часто имеет очень малый защитный слой бетона и просматривается снизу плиты. Эксплуатация плит в агрессивных условиях приводит к ускоренной коррозии арматуры. При этом на поверхности плиты появляются полосы от продуктов коррозии арматуры и, как следствие, с течением времени снижается несущая способность плит.

Изготовление плит в сильно изношенной опалубке вызывает их уширение, превышающее допуски. В многоэтажных зданиях в перекрытиях в этом случае не удастся уложить нужное количество плит. Уширенные плиты при укладке на стропильные конструкции постепенно сдвигаются со своего проектного положения, и ребра плит оказываются вне закладных деталей, расположенных по верху стропильных конструкций. Так, если ширина плиты будет превышать номинальную на 1 см, то уже через шесть плит ее ребро сместится с закладной детали стропильной конструкции.

Отколы торцов плит с обнажением концов арматуры ребер нарушают анкеровку арматуры на опорах и могут разрушить плиту по наклонному сечению из-за продергивания арматурных стержней.

В каркасных зданиях серии ИИ-20/70 и 1.420-12 конструктивное решение плит предусматривает их опирание на ригели концами продольных ребер. Закладные детали на концах продольных ребер

должны ложиться на закладные детали, расположенные по верху полок ригелей. Однако в данных плитах высота торцевых поперечных ребер равна высоте продольных ребер. Поэтому поперечные торцевые ребра препятствуют правильному опиранию продольных ребер. Объясняется это тем, что закладные детали на полках ригелей и по концам продольных ребер оказываются несколько утопленными относительно бетонной поверхности. В результате между закладными деталями образуется зазор в несколько миллиметров (встречаются зазоры до 1 см и более), а продольные ребра плит висят на поперечных торцевых ребрах. Это изменяет работу плит, ухудшая условия опирания плит на ригели и уменьшая жесткость диска перекрытий.

**2.4.6.2 Монтаж плит.** К основным дефектам монтажа железобетонных плит перекрытий и покрытий относятся:

- смещение плит в плане вдоль и поперек их осей;
- отсутствие сварки закладных деталей плит с закладными деталями ригелей или стропильных конструкций, а также недостаточная протяженность или сечение сварных швов в этих соединениях;
- неправильное омоноличивание швов между плитами;
- перегрузка плит в процессе монтажа строительными изделиями и материалами;
- отсутствие уборки снега на пустотных плитах в период монтажа конструкций;
- использование при монтаже плит с такими дефектами, как сколы бетона в опорных частях плит, сквозные трещины, низкая прочность бетона и др.

Смещение плит, уложенных по верху балок (ригелей), в плане вдоль их осей приводит к недостаточной длине опирания плит с одной их стороны. При этом появляется опасность продергивания продольной арматуры ребер у опоры и разрушения плит по наклонному сечению.

Отсутствие сварки закладных деталей плит с закладными деталями балок (ригелей) или недостаточная протяженность и сечение сварных швов в этих соединениях снижают жесткость дисков перекрытий и покрытий, что отрицательно сказывается на пространственной жесткости здания. Появляется возможность потери устойчивости сжатых поясов стропильных конструкций из их плоскости.

В каркасах серии ИИ-20/70 и 1-420-12 в зазор между закладной деталью в конце плиты и закладной деталью ригеля, если эти закладные детали оказываются утопленными относительно бетонной поверхности, строители часто укладывают отрезок арматурной стали. Это не обеспечивает требуемой прочности соединения плит с ригелями.

Вместо омоноличивания мелкозернистым бетоном класса, предусмотренного проектом, часто производится заливка швов цементным раствором марок 100–150, а иногда зазоры между плитами



остаются заполненными строительным мусором. При этом резко снижается жесткость дисков перекрытия и покрытия, ухудшается пространственный характер работы каркаса здания и, как следствие, возрастают усилия в колоннах. Проявляется также так называемый "клавишный эффект" – прогиб каждой плиты осуществляется без взаимодействия с соседними плитами.

Перегрузка в процессе монтажа плит строительными изделиями и материалами может вызвать разрушение плит.

Устройство больших монтажных проемов в перекрытиях и покрытиях увеличивает свободную длину верхнего пояса балок (ригелей) из их плоскости, что может привести к потере его устойчивости. Особенно это опасно для стропильных конструкций, имеющих значительные пролеты.

Отсутствие в процессе строительства уборки снега с перекрытий из многпустотных плит приводит к тому, что в период оттепелей вода от таяния снега будет попадать в пустоты плит (происходит это обычно через отверстия у монтажных петель и через торцы плит). Образовавшийся при замерзании лед может вызвать разрушение плиты в виде трещин и отколов бетона вдоль пустоты.

Пробивка отверстий в конструкциях, в которых эти отверстия не предусмотрены проектом (встречается при укладке непроектных плит в местах, где должны проходить коммуникации), приводит к тому, что плиты с пробитыми отверстиями могут потерять часть несущей способности.

#### **2.4.7 Монолитные железобетонные конструкции**

К основным дефектам монолитных железобетонных конструкций, вызванных нарушением технологии производства работ, можно отнести:

- изготовление недостаточно жесткой, сильно деформирующейся при укладке бетона и недостаточно плотной опалубки;
- отклонение геометрических размеров сечений элементов от проектных значений сверх предусмотренных нормами;
- появление раковин и каверн из-за плохого уплотнения бетонной смеси;
- укладку расслоившейся бетонной смеси;
- применение слишком жесткой бетонной смеси при высоком коэффициенте армирования;
- плохой уход за бетоном в процессе его твердения и набора прочности;
- несоответствие диаметра, количества, марок и классов стали арматурных стержней, а также их положения в сечении элемента проектным условиям;
- некачественная сварка стыков арматуры;
- применение сильно прокорродированной арматуры;

- несоответствие проектным характеристик бетона по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости (плотности) и др.;
- отсутствие или недостаточное сцепление между уложенными в разное время слоями бетона;
- несоответствие выпусков арматуры в стыковых узлах элементов проектному положению;
- несоблюдение требуемой толщины защитного слоя бетона;
- наличие трещин, сколов в бетоне;
- наличие инородных включений в бетоне;
- образование усадочных трещин;
- нарушение рецептуры состава бетона;
- дефекты противокоррозионных покрытий бетона, арматуры, закладных деталей (недостаточная толщина, отсутствие на отдельных участках, применение составов, не соответствующих проектным требованиям).

Изготовление недостаточно жесткой опалубки, когда она получает значительные деформации в период укладки бетонной смеси, существенно изменяет формы железобетонных элементов. Элементы перекрытий при этом имеют вид сильно прогнувшихся конструкций, вертикальные поверхности приобретают выпуклости. Деформация опалубки может привести к смещению и деформации арматурных каркасов и сеток и изменению несущей способности элементов. Необходимо отметить, что собственный вес конструкции при этом возрастает.

Неплотная поверхность опалубки способствует вытеканию цементного раствора и появлению в связи с этим раковин и каверн. Раковины и каверны возникают также из-за дефектов уплотнения бетонной смеси при ее укладке в опалубке. Образование раковин и каверн может значительно снизить несущую способность элементов, увеличить проницаемость конструкций; оно способствует коррозии арматуры, находящейся в зоне раковин и каверн, а также может стать причиной продергивания арматуры в бетоне.

Уменьшение проектных размеров сечений элементов приводит к снижению их несущей способности, а увеличение – к возрастанию собственного веса конструкции.

Применение расслоившейся бетонной смеси не позволяет получить однородную прочность и плотность бетона по всему объему конструкции и снижает ее прочность. Применение же слишком жесткой бетонной смеси при густом армировании способствует образованию раковин и каверн вокруг арматурных стержней, что снижает сцепление арматуры с бетоном и вызывает опасность коррозии арматуры.

Плохой уход за бетоном приводит к пересушиванию поверхности железобетонных элементов или всей их толщи. Пересушенный бетон обладает значительно меньшей прочностью и морозостойкостью, чем нормально затвердевший, в нем возникает много усадочных трещин.

Недостаточное утепление или термообработка при бетонировании в зимних условиях вызывает раннее замораживание бетона. После оттаивания такой бетон не сможет набрать необходимой прочности. Конечная прочность на сжатие бетона, подвергшегося раннему замораживанию, может составлять всего 2–3 МПа и менее, что обязывает предохранять бетон от замораживания до приобретения им минимальной (критической) прочности, которая обеспечит необходимое сопротивление давлению льда и сохранит в последующем при положительных температурах способность бетона к твердению без существенного ухудшения его основных свойств.

Некачественная уборка опалубки до бетонирования (всего льда и снега) приводит к появлению в бетоне каверн и раковин.

Несоответствие армирования конструкций проекту, некачественная сварка выпусков арматуры и пересечения стержней влияют на прочность, трещиностойкость и жесткость монолитных конструкций так же, как и аналогичные дефекты в сборных железобетонных элементах.

Незначительная коррозия арматуры не сказывается на сцеплении арматуры с бетоном, а следовательно, и на работе всей конструкции. Если же арматура проржавела так, что слой коррозии при ударах об нее откалывается, то сцепление такой арматуры с бетоном ухудшается. При этом наряду со снижением несущей способности элементов, из-за уменьшения в связи с коррозией сечения арматуры, увеличивается деформативность элементов и раскрытие в них трещин.

#### **2.4.8 Лестничные марши и площадки**

Основные дефекты монтажа железобетонных маршей и площадок:

- отклонение осей элементов относительно координационных осей;
- смещение конструкций в плане от проектного положения;
- недостаточная глубина опирания элементов;
- неправильное выполнение соединений элементов друг с другом;
- применение для монтажа конструкций с ярко выраженными дефектами.

Использование конструкций лестничных маршей и площадок, имеющих трещины, обнажение арматуры, жировые и ржавые пятна на лицевых поверхностях, не отвечающих первой категории качества по истираемости бетона, приводит к снижению прочности и долговечности.

При монтаже лестничных маршей использование строп вместо траверс, предусмотренных ППР, закрепление их с применением различного рода приспособлений и в непроектных местах ведет к разрушению марша и его падению.

Уменьшение глубины опирания площадок и маршей против проектной ведет к снижению устойчивости маршей и площадок. Кроме этого, к снижению устойчивости приводит применение не предусмотренных проектом прокладок для выравнивания положения монтируемых элементов по отметкам, установление маршей на площадку без подстилающего слоя

раствора, допущение сверхнормативного отклонения ступеней от горизонтали.

## **2.4.9 Стальные конструкции**

**2.4.9.1 Изготовление конструкций.** Основными дефектами стальных конструкций при их изготовлении являются:

- неэквивалентная замена материалов при изготовлении элементов конструкций (замена марки стали, типа электродов, уменьшение сечения элементов);
- изменение проектных размеров конструкции в целом и ее отдельных элементов;
- смещение осей элементов от проектных геометрических центров узлов сопряжений нескольких элементов;
- непрямолинейность элементов;
- отсутствие требуемых зазоров между стыкуемыми элементами;
- уменьшение длины сечения сварных швов, низкое качество сварки, окрашивание швов с неотбитым шлаком;
- подрезки металла несущих элементов при сварке;
- недостаточное стягивание пакетов при болтовых соединениях;
- покрытие металла грунтовкой без очистки от ржавчины;
- дефекты соединений элементов (головок заклепок, болтовых соединений, сварных швов);
- дефекты противокоррозионных покрытий (недостаточная толщина, участки с отсутствием покрытия и т. д.);
- отправка стальных изделий на стройку без огрунтовки.

Стали различаются по многим признакам, в зависимости от их получения, обработки и использования. Поэтому, если замена стального проката произведена без учета реальных условий изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций (например, в условиях воздействия высоких положительных и низких отрицательных температур или динамического воздействия), то элементы конструкций могут разрушиться.

Замена прокатных профилей, предусмотренных проектом, с нарушением проектных требований к значениям площади, радиуса инерции, момента сопротивления, момента инерции поперечного сечения и к марке стали может привести к тому, что стальной элемент и конструкция в целом могут иметь недостаточную несущую способность, повышенную деформативность.

Изменение марки электрода приводит к нерасчетной работе сварного шва. При этом изменяется прочность самого сварного шва, а также контактной зоны основного металла и сварного шва.

Низкое качество стали и нарушения технологии сварки элементов могут вызвать появление местных (в области сварного шва) и общих разрушений стальных конструкций.

Изменение проектных размеров конструкции ведет к изменению расчетной схемы и работы конструкции. Изменяются и расстояния между узлами, а заготовки элементов оказываются короче или длиннее необходимых. В связи с этим могут стать недостаточными размеры фасонки, длина сварных швов соединений, уменьшенными или недопустимо увеличенными зазоры между стыкуемыми элементами. Если элементы фермы в сварных узлах приближаются друг к другу больше, чем это предусмотрено нормами, то из-за теплового воздействия сварки в фасонках возникает нерасчетное напряженное состояние вплоть до образования трещин. Слишком большие расстояния между элементами фермы в сварном узле приводят к потере устойчивости фасонки у сжатого элемента.

Смещение осей элементов от центров узлов конструкции вызывает появление дополнительных усилий в элементах и изгибающих моментов в узлах.

Установка в конструкциях погнутых элементов резко снижает прочность как самого элемента, так и конструкции в целом.

Подрезы металла при сварке образуют концентраторы напряжений, что снижает несущую способность стальных конструкций.

Недостаточное стягивание пакета при использовании болтового соединения ухудшает работу болтов и снижает силы трения между элементами пакета, что уменьшает несущую способность соединения.

Огрунтовка стальных конструкций без очистки от ржавчины приводит к ее недостаточному сцеплению с металлом и отслаиванию, ускоряя развитие коррозионных процессов в металле.

Неправильная строповка и складирование стальных конструкций приводят к появлению дефектов в виде местных и общих деформаций.

**2.4.9.2 Монтаж конструкций.** К распространенным дефектам монтажа стальных конструкций можно отнести:

- нарушение последовательности монтажа элементов;
- неточную подгонку и неправильное соединение элементов в монтажных узлах;
- смещение конструкций с проектных отметок и осей;
- отсутствие элемента конструкции или соединения;
- повреждение элементов конструкций при монтаже (искривление, коробление, вмятины и т. п.).

Нарушение требуемой последовательности монтажа стальных конструкций, связанное с установкой временных или постоянных связей, может затруднить стыковку элементов каркаса и покрытия, привести к потере устойчивости отдельных элементов и к обрушению конструкций еще в период монтажа. Связи должны монтироваться одновременно с другими элементами каркаса в порядке, предусмотренном проектом. Нарушение порядка монтажа связей снижает пространственную

жесткость здания и отдельных его элементов в период монтажа и сказывается при его эксплуатации.

Неточная подгонка и неправильное соединение элементов в монтажных стыках, выраженные в неполной постановке всех соединительных элементов, недостаточных размерах (по длине и сечению) монтажных швов, несовпадении осей стыкуемых элементов и других отступлениях от проекта, приводит к снижению несущей способности стыков и могут вызвать аварию здания.

Смещение конструкций с проектных осей затрудняет или делает невозможной стыковку элементов друг с другом, вызывает появление дополнительных усилий в них. Последствия смещения стальных конструкций с осей аналогичны отмеченным для железобетонных конструкций.

Неправильная строповка конструкций при монтаже может привести к потере устойчивости отдельных сжатых элементов и их местному изгибу.

Заделка в кладку опорного узла и стойки при опирании стальных ферм на кирпичные стены затрудняет или делает невозможным контроль состояния узла фермы и создает благоприятные условия для активной коррозии металла, заделанного в стену.

#### **2.4.10 Деревянные конструкции**

Большинство деревянных конструкций изготавливается и монтируется «по месту». Наиболее распространенными дефектами деревянных конструкций при их изготовлении и монтаже являются:

- отступление от проектных размеров конструкций;
- неправильное выполнение соединений элементов друг с другом;
- смещение от проектного положения элемента или конструкции в целом;
- отсутствие или низкое качество антисептирования древесины;
- невыполнение пропитки древесины антипиренами;
- механическое ослабление сечений (запилы, зарубы, обмятины);
- наличие пороков древесины (сучков и т. п.);
- применение сырой древесины;
- трещины в древесине или ее коробление;
- ослабленные соединения (скалывание древесины во врубках и т. п.);
- отсутствие элементов узлов сопряжения конструкций (гвоздей, нагелей, скоб, болтов) либо их недостаточное количество;
- применение при соединении элементов и конструкций материалов, не соответствующих проекту;
- низкое качество склеивания элементов клееных деревянных конструкций;
- отсутствие гидроизоляции конструкций в местах примыкания к каменным, бетонным и стальным конструкциям;

– заделка балок в кладку стен без устройства зазора в торце элемента.

Применение в строительных конструкциях древесины естественной и повышенной влажности приводит к появлению в бревнах и брусьях продольных трещин от неравномерного высыхания древесины, вызывает коробление пиломатериалов и способствует образованию гнили. Продольные трещины в изгибаемых и сжатых элементах оказывают существенное влияние на их гибкость (при разделении элемента на части), сказываясь на их несущей способности и деформации. В растянутых элементах продольные трещины часто совпадают с отверстиями для нагелей, и местами забивки гвоздей в стыковых соединениях элементов. Это приводит к значительной деформации стыков, а иногда и к полному их разрушению.

Применение даже высушенной древесины без соответствующей антисептической обработки грозит поражением дереворазрушающими грибами. Гниение древесины происходит в результате деятельности домовых грибов: настоящего, белого, пленчатого и шахтного (или пластинчатого). Грибница домовых грибов питается в основном клетчаткой древесины (целлюлозой), образуя деструктивную трухлявую гниль, которая приводит к разрушению деревянных элементов. Жизнедеятельность домовых грибов протекает при температуре от +3 до +45 °С. Начинается она при средней влажности древесины не ниже 20 %. Для возникновения гниения необходимо длительное увлажнение древесины до появления в ее полостях капельно-жидкой влаги. Последующее же увлажнение происходит в результате химического разложения древесины при участии гриба, поскольку в результате химического процесса гниения выделяется воды в шесть раз больше, чем потребляется в начале процесса. Таким образом, домовый гриб может поразить даже просушенную вначале, но не антисептированную древесину, если она в процессе эксплуатации конструкции будет сильно увлажняться без соответствующей вентиляции.

Аналогичные условия способствуют поражению древесины дереворазрушающими насекомыми, вызывающими разрушение древесины различной степени интенсивности.

Уменьшение сечений элементов деревянных конструкций, как и конструкций из другого материала, приводит к снижению прочности конструкций и к увеличению их деформаций. При заниженной длине деревянных элементов происходит уменьшение надежности узлов примыкания их к другим конструкциям.

Неправильное выполнение соединений деревянных элементов друг с другом вызывает уменьшение прочности конструкций. При занижении глубины врубки (от проектной) соединение элементов будет иметь недостаточную прочность из условия смятия древесины. При увеличении глубины врубки прочность на растяжения элемента, в котором сделана врубка, может оказаться недостаточной.

Неперпендикулярность упорных площадок во врубках к действующему усилию может привести к скалыванию упорной площадки.

Несоответствие диаметра отверстий для нагелей в сопрягаемых элементах и накладках диаметру нагелей может вызвать разрушение соединений. Если диаметр отверстий будет больше, чем диаметр нагелей, то прочность соединения оказывается недостаточной, а соединения получают большие деформации. Если диаметр отверстий меньше диаметра нагелей, то при забивке последних может произойти раскалывание деревянных элементов.

При уменьшении в соединениях шага нагелей и гвоздей против принятых в проекте в соединении могут образоваться трещины, приводящие к разрушению соединения. При уменьшении проектного количества нагелей и гвоздей соединение будет иметь недостаточную прочность.

Отсутствие изоляции в два слоя из толя или рубероида в местах примыкания деревянных элементов к каменным, бетонным и стальным конструкциям может привести к переувлажнению деревянных элементов и их загниванию.

Плотная заделка концов балок, опираемых на кирпичные стены, приводит к их загниванию. Чтобы предохранить их от загнивания, требуется, с одной стороны, обеспечить вентиляцию пространства вокруг заделанного в стены торца балки, а с другой – исключить образование конденсата на поверхности гнезда в стене. Если наружная стена имеет толщину 51 см и менее, то между торцом балки и задней стенкой гнезда должен оставаться зазор не менее 2,5 см. Для предотвращения проникновения в гнездо теплого воздуха и предупреждения образования в нем конденсата необходима тщательная заделка зазоров между балкой и кладкой стен.

Обмазка смолой торцов балок либо закрытие их гидроизоляционным материалом приводит к их переувлажнению и загниванию.

Отсутствие обработки деревянных конструкций на чердаках антипиренами (даже при их антисептировании) понижает их огнестойкость.

#### **2.4.11 Полы**

Основными дефектами устройства оснований полов являются:

- недостаточная теплостойкость;
- потеря прочности теплоизоляционного слоя пола;
- излом и изгиб древесноволокнистых или гипсовых плит, появление на них сплошных или поверхностных трещин;
- разрушение выравнивающей цементно-песчаной стяжки или отслаивание от основания;
- расслаивание и появление трещин на поверхности стяжки;



– отслаивание грунтовок.

Недостаточная теплостойкость полов может быть вызвана:

– устройством теплоизоляции пола более тонким слоем, чем предусмотрено проектом;

– укладкой утеплителя с повышенной влажностью;

– некачественной заделкой стыков между плитами утеплителя.

Потеря прочности теплоизоляционного слоя пола, излом и изгиб древесноволокнистых или гипсовых плит, появление на них сплошных или поверхностных трещин возможны при устройстве теплоизоляционного слоя с повышенной влажностью, а также по неровному основанию – по плитам перекрытия с выбоинами или по слою песчаной засыпки неравномерной толщины.

Причинами разрушения выравнивающей цементно-песчаной стяжки, отслаивания ее от основания, расслаивания и появления трещин на поверхности стяжки являются:

– устройство выравнивающей стяжки из раствора, марка которого ниже проектной, в результате чего прочность стяжки при сжатии не достигла 15 МПа;

– укладка раствора по основанию без разрезки с помощью реек на карты или по легкосжимаемому теплоизоляционному слою из сыпучих утеплителей без армирования стальной сеткой;

– нарушение требований ухода за свежееуложенным раствором – твердение стяжки при повышенной температуре воздуха без регулярной поливки ее водой или при пониженных температурах без противоморозных добавок (раствора поташа или солей азотнокислого кальция).

Отслаивание грунтовок от поверхности цементно-песчаных стяжек, плит перекрытия или монолитного утеплителя вызывают:

– нанесение грунтовок на загрязненное и пыльное основание;

– применение грунтовочных составов с пониженным количеством растворителя;

– применение неоднородного грунтовочного состава, необезвоженного битума или битума с пониженной температурой (менее 90 °С) при приготовлении грунтовок.

**2.4.11.1 Ковровые покрытия.** Основные дефекты устройства ковровых покрытий:

– вмятины;

– волны и бугры.

Появление вмятин связано с устройством элементов конструкции пола с отступлением от требований проекта.

Волны и бугры на поверхности покрытия вызывает недостаточная прочность сцепления полотнищ с мастикой или клеем, нанесенным вдоль стыков полотнищ.

#### **2.4.11.2 Дощатые полы.** Дефекты устройства дощатых полов:

- рассыхание и коробление пологого бруса и досок;
- местные просадки;
- прогиб лаг.

Появление щелей и коробление дощатых полов, пологого бруса возможно при применении сырого леса (древесины с влажностью более 18 %).

Прогиб лаг наблюдается при недостаточной их прочности (недостаточная площадь сечения) либо слишком большом шаге.

#### **2.4.11.3 Паркетные полы.** Дефекты устройства паркетных полов:

- отслаивание планок паркета от основания;
- зыбкость;
- тугое шпунтовое соединение;
- вспучивание панелей;
- вогнутая поверхность по ширине панели или доски;
- зазор между длинными сторонами дощечек;
- трещины;
- неправильный угол на торце дощечки.

Отслаивание планок паркета от основания происходит по следующим причинам:

- из-за приклеивания планок паркета мастиками по не полностью грунтованному или не очищенному от пыли основанию;
- нанесения мастик или клеев неравномерным слоем;
- несоблюдения правил крепления планок паркета гвоздями к деревянному основанию.

Зыбкость покрытия при ходьбе по полу вызывают:

- настилка паркета по стяжке, не набравшей проектной прочности;
- настилка паркета по невыровненному слою утеплителя;
- приклеивание паркетных планок к основанию холодными мастиками или клеями сразу же после их нанесения без выдержки, необходимой для испарения растворителя и набора прочности клеевой прослойки;
- настилка паркетных планок на горячей мастике с пониженной температурой (ниже +160 °С для горячих битумных и +18 °С для холодных резинобитумных мастик);
- нанесение клеев, холодных или горячих мастик по негрунтованной поверхности основания; применение для приклеивания планок паркета мастик или клеев без соблюдения требований к их составу.

Слишком тугое шпунтовое соединение образуется в случаях, если упаковка была открыта слишком рано и дощечки набухли либо при использовании нестандартного инструмента.

Вспучивание панелей может произойти с твердыми дощечками, когда шлифование выполняется сразу после наклеивания с использованием клея на водной основе.

Вогнутая поверхность по ширине панели или доски образуется при усушке дерева в результате слишком сухого воздуха внутри помещения.

Зазор между длинными сторонами дощечек вызывают дефекты монтажа (некачественная подгонка дощечек вместе по длинной стороне) либо применение узких дощечек.

Причиной появления трещин может быть сжатие дощечек в результате сухости воздуха внутри помещения.

Неправильный угол на торце дощечки образуется при производстве или монтаже, если первый ряд дощечек уложен неправильно.

**2.4.11.4 Линолеумные полы.** Применение разнообразных клеящих мастик, изготовленных на строительной площадке, неумелое использование медленно твердеющих мастик, а также несоблюдение сроков сушки оснований и выдержки линолеума – основные причины того, что линолеум вздувается пузырями, коробится, и его кромки в стыках становятся волнистыми.

Большая часть дефектов покрытия таких полов обусловлена недостатками самих оснований, которые характеризуются повышенной влажностью, неровной поверхностью. Дефекты не только ухудшают внешний вид линолеумных полов, но и способствуют быстрому их износу.

К наиболее характерным дефектам линолеумных полов можно отнести:

- пузыри;
- вздутия;
- щели и наплывы;
- волнистость;
- отклеивание кромок и отдельных участков линолеума;
- отслаивание, частичное или полное раскрытие стыков полотнищ.

Пузыри появляются в следующих случаях:

- когда толщина слоя мастики свыше 1 мм и мастика медленно высыхает;
- при нормальном слое мастики, но плохо разглаженном линолеуме мастика не прилипает к линолеуму;
- слой мастики менее 0,5 мм или отсутствует;
- из-за недостаточной выдержки (созревания) линолеума на заводе-изготовителе.

Вздутия обусловлены следующими факторами:

- повышенной влажностью основания;
- недостаточным сроком вылеживания полотнищ;
- нарушением технологии наклеивания (толстый слой мастики или ее отсутствие, неплотное прижатие ковра к основанию).

Щели и наплывы появляются от преждевременной прирезки кромок линолеума, т. е. в случае, если не выдержан определенный срок вылеживания. Поливинилхлоридный и коллоксилиновый линолеумы дают усадку, и между отдельными полотнищами образуются щели.

Глифталевый линолеум после приклейки увеличивается в ширину и уменьшается в длину, поэтому в продольных стыках получаются наплывы, а в поперечных образуются щели.

Волнистость отдельных участков вызывают:

- неправильное хранение рулонов линолеума. Волнистость не исчезает даже при длительном вылеживании полотнищ;
- недостаточная прочность сцепления клеящей прослойки с основанием;
- приклеивание линолеума без предварительной раскладки и выдержки.

Отклеивание кромок и отдельных участков линолеума происходит в случае, если мастику наносят на влажное или не очищенное от пыли основание.

Отслаивание линолеума от основания, частичное или полное раскрытие стыков полотнищ происходит из-за:

- нарушения технологии приклеивания полотнищ;
- несоблюдения требований к влажности материалов при устройстве конструкции пола;
- приклеивания линолеума без предварительного выдерживания в раскатанном состоянии.

**2.4.11.5 Плиточные полы.** Основными дефектами устройства плиточных полов являются:

- отклеивание;
- коробление кромок и углов;
- выдавливание мастики между швами плитки;
- отслаивание отдельных плиток либо участков.

Причинами отслаивания и отклеивания поливинилхлоридных плиток являются плохая очистка основания от пыли и грязи либо недостаточный или пересохший слой клеящей мастики.

Коробление кромок и углов у наклеенной плитки происходит из-за нанесения толстого слоя мастики или преждевременного наклеивания плитки до испарения летучего растворителя.

Выдавливание мастики между швами плитки является следствием недостаточной выдержки мастики, покрывающей основание, или ее слишком толстого слоя.

Причинами отслаивания отдельных плиток является неоднородность раствора и низкая его прочность, а также укладка загрязненных пыльных плиток.

**2.4.11.6 Бетонные полы.** Для всех видов бетонных полов характерны следующие дефекты их устройства:

- коробление;
- отслоение верхнего слоя;
- расслаивание;
- вздутия;
- раковины;
- трещины.

Коробление бетонного пола проявляется в выгибании краев бетонной плиты вверх или вниз. Оно может быть вызвано неправильным или неполным анализом температурных условий или уровня влажосодержания.

Причинами отслаивания верхнего слоя могут быть:

- низкое содержание цемента в бетонной смеси;
- высокое водоцементное отношение;
- избыточная шлифовка поверхности;
- неадекватный уход за бетоном;
- карбонизация бетона;
- замерзание бетона до набора достаточной прочности;
- неудаление слабого цементного молока мозаично-шлифовальной машиной до нанесения каких-либо жидких упрочнителей и / или покрытий на поверхность бетона.

Расслаивание поверхности может происходить по разным причинам. На наружных площадках, где бетон подвержен циклам замораживания / оттаивания, расслаивание поверхности на глубину около 3 мм возможно в случае отсутствия в бетоне порообразующих (воздуховывлекающих и газовыделяющих) добавок. Причиной расслаивания, хотя и относительно неглубокого, могут быть нарушения технологии отделки свежешелюженного бетона и неадекватный уход за ним.

Вздутия – результат образования воздушной и / или водяной подушки под слоем цемента толщиной 1,5–3 мм во время операции затирки. Основная причина – преждевременная попытка уплотнить цементное молоко стальным диском и избыточная шлифовка поверхности.

Образование на поверхности конусообразных раковин диаметром от 10 до 50 мм происходит из-за разбухания щелочеактивных наполнителей и глиноземных компонентов под действием влаги или жидких химических веществ.

Образование трещин в бетоне может быть результатом нарушений технологии или внешних воздействий на всех этапах устройства полов.

Трещины, вызванные усадкой основания, образуются при укладке бетона на грунт без обеспечения качественного дренажа либо через подушку из щебня, либо устройством наклона плиты в сторону естественного дренажа.

Трещины из-за усадки бетона вокруг арматуры могут быть вызваны внутренней усадкой вокруг твердого предмета, например, прута арматуры или крупного наполнителя.

Волосяные трещины, часто в виде сетки, как правило, проникают вглубь не более чем на 3 мм и не представляют собой проблемы для структуры пола. Основные причины их образования:

- высокое водоцементное отношение смеси;
- неправильный или неполный анализ температурных условий или уровня влагосодержания;
- быстрое высыхание поверхности при жаркой и ветреной погоде;
- нарушение технологии ухода за свежесуложенным бетоном;
- посыпание свежего бетона сухим цементом;
- избыточная или преждевременная затирка, которая приводит к выходу на поверхность воды и наполнителя мелкой фракции.

#### **2.4.12 Перегородки**

Основными дефектами устройства перегородок являются:

- отсутствие предусмотренных проектом зазоров между потолком и верхней частью перегородки;
- невыполнение крепления перегородок к несущим конструкциям металлическими элементами и заделки имеющихся зазоров;
- отсутствие изоляции перегородок от монтажных стяжек гидроизоляционными материалами;
- отсутствие крепления закладок некратных мест мелкоштучными материалами к основным конструкциям.

Данные дефекты способствуют появлению и развитию деформаций в перегородках.

#### **2.4.13 Кровли из рулонных материалов**

При устройстве кровель из рулонных материалов возможны следующие основные дефекты:

- выполнение пароизоляции с разрывами без заведения на выступающие элементы;
- применение теплоизоляционных материалов, не соответствующих требованиям проекта по влажности;
- укладка теплоизоляционных материалов с разрывами, сверхнормативными отклонениями от требований проекта по толщине и заданным уклонам;
- выполнение основания под гидроизоляцию, не соответствующего требованиям по прочности, монолитности и ровности поверхности;
- необеспечение плотности прилегания к основанию рулонных материалов при наклейке;
- несоблюдение величины нахлеста соседних полотнищ, допущение

их перекрестной наклейки;

- невыполнение требований проекта по устройству примыкания мягкой кровли к парапету и выступающим частям;

- отсутствие температурно-усадочных швов в стяжке;

- провисание кровельного ковра вследствие больших зазоров-швов между плитами утеплителя;

- отсутствие наклонного переходного бортика;

- попадание влаги между слоями рулонного ковра в процессе строительства;

- приклейка слоев рулонных материалов по мокрым или запыленным поверхностям и в местах механических повреждений;

- отсутствие надежного закрепления верхнего края кровельного ковра и фартука;

- недостаточная теплостойкость мастичного слоя наплавленных материалов, применяемых для наклейки слоев дополнительного ковра;

- выполнение нахлестки стыков полотнищ верхнего слоя против направления господствующих ветров;

- отсутствие предварительной битумной огрунтовки цементной стяжки или бетонного основания;

- небрежное, с пропусками, покрытие мастикой поверхности основания (или нижележащего слоя кровли) и недостаточное промазывание мест приклеивания кромок полотнищ;

- механические повреждения покрытия при производстве кровельных работ;

- зыбкость основания;

- неправильный подбор состава мастики;

- недостаточное зажатие концов полотнищ металлическим фартуком, установленным на торце карнизной плиты;

- деформация теплоизоляционных пенополистиролов и других материалов, уложенных без необходимой выдержки после изготовления;

- недостаточный отход капельника от вертикальной поверхности;

- применение вместо битумных материалов и других видов мастик чистого битума;

- отсутствие защитного слоя в кровлях с уклоном до 10 %;

- волнообразное отслоение краев полотнищ рубероида;

- впадины на поверхности кровельного покрытия глубиной более 10 мм;

- неплотное прилегание кровельного покрытия к основанию в местах примыкания рулонного ковра к вертикальным поверхностям;

- отсутствие защитных фартуков;

- образование хаотически расположенных вздутий под верхним слоем кровельного ковра (не имеющего гравийного защитного слоя);

- отсутствие выкружек из цементно-песчаного раствора или невыдерживание радиуса закруглений;

- отсутствие герметичности соединения дождезащитных зонтов с трубами;
- выполнение рулонного ковра на вертикальных стенках на высоту 5–10 см вместо нормируемых 25 см;
- стекание мастики с поверхности кровельного ковра;
- отсутствие керамзитового гравия над стыками теплоизоляционных плит;
- застой в ендовах воды (лужи), оставшейся после дождя или образовавшейся при таянии снега вследствие несоблюдения уклона кровли проектировщиками в стадии проектирования или строителями в процессе выполнения строительных работ;
- расстройство швов в местах наклейки одной полосы рулонного материала на другую;
- отслаивание кровельного ковра от основания или одного слоя ковра от другого;
- образование вздутий на поверхности рулонной кровли, настланной по асфальтобетонной стяжке;
- образование в слоях рулонного ковра отдельных вздутий – "мешков", наполненных воздухом или водой;
- сползание полотнищ рулонных материалов защитного битумного или окрасочного слоя на основных плоскостях кровель;
- сползание кровли в местах примыкания к вертикальным поверхностям;
- отслаивание дополнительного водоизоляционного ковра и фартука от выступающих вертикальных участков примыканий кровель;
- вмятины, складки или трещины над стыками теплоизоляционных плит;
- образование вздутий между нижним слоем кровельного ковра и основанием под кровлю (отслоение многослойного кровельного ковра от основания);
- трещины в защитном слое битумной мастики, нанесенном на поверхность кровельного ковра;
- образование морщинистости и продольных, вдоль уклона, складок преимущественно на рулонных кровлях с уклоном до 10 %;
- разрывы ковра в местах перегибов (в примыканиях) и неполная приклейка к основанию;
- отслоение защитного слоя мастичной кровли;
- увлажнение карнизов и стен;
- затекание воды на фасад здания.

Возникновение вышеперечисленных дефектов ведет к снижению эксплуатационных качеств кровли в различной степени, переувлажнению и протечкам.

Расстройство швов в местах наклейки одной полосы рулонного материала на другую может быть вызвано:



- несоблюдением величины нахлестки полотнищ по ширине;
- отсутствием раскатывания рулонного материала перед наклейкой и пригонки полотнища по месту;
- выполнением нахлестки стыков полотнищ верхнего слоя против направления господствующих ветров.

Отслаивание кровельного ковра от основания или одного слоя ковра от другого может возникнуть по причине недостаточного сцепления мастики с основанием, которое возникает из-за несоблюдения следующих условий:

- цементно-песчаная стяжка или бетонное основание не были предварительно огрунтованы;
- наклейка производилась по влажному или не очищенному от пыли и грязи основанию;
- нижняя поверхность полотнищ и кромки лицевой стороны не были очищены от минеральной посыпки;
- поверхность основания (или нижележащего слоя кровли) небрежно, с пропусками покрыта мастикой и недостаточно промазаны места приклеивания кромок полотнищ;
- наклейка произведена остывшей битумной мастикой с температурой ниже 160 °С;
- наклеенные полотнища плохо прижаты к нижележащему слою или основанию.

Впадины на поверхности кровельного покрытия глубиной более 10 мм образуются, если рулонный ковер наклеен на поврежденное основание с выбоинами и углублениями.

Разрывы ковра и пробоины возникают при наличии:

- щелей и трещин в плиточном или монолитном основании;
- механических повреждений при производстве кровельных работ;
- зыбкости основания.

Образование вздутий на поверхности рулонной кровли, настланной по асфальтобетонной стяжке, происходит при деформации асфальтобетонной стяжки из-за интенсивного воздействия солнечных лучей, а также невыполнения требований СНиП об устройстве температурно-усадочных швов.

Образование в слоях рулонного ковра отдельных вздутий – "мешков", наполненных воздухом или водой, может быть вызвано:

- недоброкачественной наклейкой рулонного ковра;
- несвоевременной ликвидацией путем проката и обжатия воздушных мешков, образовавшихся при наклейке полотнищ;
- неудалением вздутий на участках старой кровли;
- влажностью основания и утеплителя.

Протечки в местах примыкания кровельного покрытия к парапетам и другим вертикальным поверхностям объясняются:

– отставанием рулонного ковра от вертикальных поверхностей из-за неправильной заделки концов полотнищ в борозды или неправильного крепления их к заложной в стене рейке;

– неправильным установлением металлических фартуков.

Стеkanie мастики с поверхности кровельного ковра происходит:

– при воздействии солнечных лучей и неправильно подобранном составе мастики (ее низкая теплостойкость);

– укладке в верхний слой покрытия материалов без крупнозернистой или чешуйчатой посыпки.

Неплотное прилегание кровельного покрытия к основанию в местах примыкания рулонного ковра к вертикальным поверхностям и разрывы возникают, если в основании кровли не сделаны выкружки в местах примыкания к вентилям и другим вертикальным поверхностям или не выдержан радиус закруглений.

Отслаивание кровельного покрытия от бетонного свеса карниза появляется по причинам:

– недоброкачественной наклейки рулонного ковра;

– выполнения нахлестки полотнищ против господствующего направления ветра;

– плохого зажатия концов полотнищ металлическим фартуком, установленным на торце карнизной плиты.

Отслаивание кровельного ковра в месте примыкания его к металлическому покрытию карнизного свеса объясняется неплотным прилеганием металлического покрытия свеса к карнизной плите.

Протечки у воронки внутреннего водостока возникают, если:

– чаша воронки водостока перед оклейкой не была очищена от ржавчины, что вызвало отставание оклейки;

– имелось повреждение кровли у воронки внутреннего водостока.

Сползание полотнищ рулонных материалов защитного битумного или окрасочного слоя на основных плоскостях кровель происходит в случае применения битумов или кровельной мастики с недостаточной теплостойкостью, а также при наклейке рулонных материалов вдоль конька кровель, имеющих уклон более 15°.

Расслаивание полотнищ рулонных материалов и появление в них повреждений, отслаивание дополнительного водоизоляционного ковра и фартука от выступающих вертикальных участков примыканий кровель может быть вызвано:

– недостаточной теплостойкостью мастик, применяемых для наклейки слоев дополнительного водоизоляционного ковра;

– приклеиванием полотнища рулонных материалов к неподготовленной выступающей поверхности;

– отсутствием защитных фартуков;

– отсутствием надежного закрепления верхнего края водоизоляционного ковра и фартука.

Отслаивание дополнительного водоизоляционного ковра и фартука от выступающих вертикальных участков примыканий кровель может происходить в результате:

– приклеивания полотнища рулонных материалов к неподготовленной выступающей поверхности;

– ненадежного закрепления верхнего края водоизоляционного ковра и фартука.

Образование хаотически расположенных вздутий под верхним слоем кровельного ковра (не имеющего гравийного защитного слоя) объясняется увлажнением нижележащего слоя в процессе наклеивания; использованием материалов, содержащих дефекты.

Вздутия на защитном гравийном слое кровельного ковра могут быть вызваны:

– передвижением основы кровельного материала из органического волокна;

– плохим сцеплением гравия с битумной мастикой и вследствие этого частичной утраты гравийного слоя;

– разрушением слоя битума под воздействием атмосферных факторов.

Образование морщинистости и продольных, вдоль уклона, складок преимущественно на рулонных кровлях с уклоном до 10 % происходит из-за применения мастик и битума с температурой размягчения ниже требуемой, в результате под действием солнечной радиации в летнее время года мастика, расплавляясь, вытекает из-под рулонного ковра, создавая складки и морщины.

Разрывы ковра в местах его сопряжения с водоприемной воронкой и вентиляционными трубами, просадки глубиной до 15 мм (более 15 мм) возникают по причине увлажнения.

Появление цветных отметин, отсутствие керамзитового гравия над стыками теплоизоляционных плит образуются при наличии щелей между торцами и боковыми гранями теплоизоляционных плит, возникающих вследствие неточной укладки плит.

Увлажнение карнизов и стен появляется по причине недостаточной высоты подъема рулонных материалов в местах примыкания кровли к вертикальным поверхностям, выходящим выше крыши.

Волнообразное отслоение краев полотнищ рубероида образовывается, если применялся некачественный картон при изготовлении рубероида.

Затекание воды на фасад здания возникает при недостаточном отnose капельника (слезника) от вертикальной поверхности.

#### **2.4.14 Сварные конструкции**

Наиболее распространенными дефектами устройства сварных швов при изготовлении конструкций являются:

- выполнение сварочных работ с нарушением требований утвержденного проекта производства сварочных работ и другой технологической документации, что приводит к снижению прочности сооружений;

- выполнение ручной или механизированной дуговой сварки конструкций при температурах воздуха ниже минимально допустимых без предварительного подогрева стали до 120–160 °С в зоне шириной 100 мм с каждой стороны соединения;

- невыполнение требования о предварительном подогреве при положительной температуре воздуха для стали с пределом текучести 400 МПа толщиной  $\geq 16$  мм;

- выполнение последующих слоев шва без очистки предыдущего слоя от шлака и брызг металла в многослойных швах;

- неудаление участков шва с трещинами до наложения последующих слоев;

- наличие на поверхности контакта соединяемых деталей зарубок, надрезов в результате механической обработки;

- отсутствие полного провара на всю толщину стенки верхних поясных швов в подкрановых балках;

- отсутствие скосов на концах продольных ребер жесткости сварных балок в местах примыкания их к поперечным ребрам и сближение швов у мест пересечений стальных элементов;

- сближение сварных швов в узлах ферм, прикрепляющих к фасонке элементы решетки, и пояса на величину менее 40 мм;

- отсутствие зачистки кромок свариваемых элементов в местах расположения швов и прилегающих к ним поверхностей, а также мест примыкания начальных и выводных планок с удалением ржавчины, жиров, краски, влаги;

- обрезка концов стержней или подготовка их кромок электрической дугой при сборке конструкций;

- низкое качество сварных швов (наличие на их поверхности прожогов, сужений, перерывов, трещин, ноздреватостей, шлаков, отсутствие плавного перехода к основному металлу, достижение глубины подрезов более 5 % толщины свариваемого проката, незаваренные кратеры, крупная чешуйчатость, неполномерность катетов швов);

- несоответствие нормативным величинам размеров конструктивных элементов кромок и швов сварных соединений и предельных отклонений размеров сечения швов сварных соединений, выполненных при монтаже стальных конструкций;

- несоответствие нормативным величинам размеров конструктивных элементов сварных соединений стержневой арматуры (стержней между

собой и с элементами закладных изделий) и предельных отклонений выполненных швов;

- длина выпусков арматурных стержней из бетона конструкции менее 150 мм при нормативных зазорах и меньше 100 мм с применением вставки при выполнении ванной сварки;

- отсутствие очистки поверхностей свариваемых конструкций и выполненных швов от шлака, брызг и наплывов расплавленного металла.

Наличие вышеприведенных дефектов ведет к снижению параметров швов и прочности соединений, разрушению сварных швов и узлов сопряжения конструкций.

#### **2.4.15 Соединения на болтах без контролируемого натяжения**

Наиболее распространенными дефектами устройства соединений на болтах без контролируемого натяжения при изготовлении конструкций являются:

- применение болтов и гаек, не имеющих клейма предприятия-изготовителя и маркировки, обозначающей класс прочности;

- использование болтов с резьбой, входящей в глубь отверстия более чем наполовину толщины крайнего элемента пакета со стороны гайки;

- несоблюдение нормируемых расстояний между центрами болтов, а также расстояния от центра болта до края элемента при размещении болтов;

- отклонения величин диаметров отверстий для болтов, превышающие величины, регламентируемые нормативными документами;

- необеспечение стопорения гаек постановкой пружинной шайбы или контргайки;

- выполнение стопорения гаек путем забивки резьбы или приварки их к стержню болта;

- отсутствие плотного соприкосновения головок и гаек болтов, в том числе фундаментных, с плоскостями шайб или элементов конструкций;

- выпуск стержня болта менее чем на 3 мм за поверхность гайки;

- недостаточная затяжка гаек;

- установка под гайки болтов более двух круглых шайб, а под головки болтов – более одной;

- отсутствие под гайками болтов шайб;

- использование обычных шайб вместо косых в креплениях к обычным прокатным двутаврам и швеллерам, имеющим непараллельные грани полос (и в других необходимых случаях);

- смещение постоянных болтов при остукивании молотком массой 0,4 кг.

Вышеперечисленные дефекты приводят к снижению прочности соединений.

#### **2.4.16 Заклепочные соединения**

Для заклепочных соединений характерны следующие дефекты, приводящие к снижению прочности соединений:

- присутствие в пакете заклепок с оторванными головками;
- наличие в пакете дрожащих заклепок или заклепок, поворачивающихся рукой;
- отсутствие заклепки в пакете;
- неплотность соединяемого пакета;
- трещиноватости или рябина головки заклепки;
- зарубки головок заклепок;
- маломерность и неоформленность головки заклепки;
- венчик вокруг головки заклепки;
- смещение заклепки с оси опирания;
- зарубка поверхности металла пакета обжимкой;
- зазор между головкой заклепки и склепываемым пакетом либо между склепываемыми пакетами;
- избыток или недостаток по высоте потайной заклепки и др.

## **3 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ ВОЗВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

---

### **3.1 Крупнопанельные жилые здания серий 464, 90 и других типовых проектов с внутренними несущими и наружными самонесущими стенами, сплошными панелями перекрытий. Общественные крупнопанельные здания серии 1.090**

#### **3.1.1 Сборные железобетонные конструкции**

**И**спользование монтажно-выверочных приспособлений, не соответствующих предусмотренным в ППР, приводит к снижению устойчивости конструкций во время монтажа.

Причинами снижения прочности может быть применение:

– панелей наружных и внутренних стен с трещинами, в том числе сквозными и наклонными, не относящимися к категории местных поверхностных усадочных трещин, со смещенными от проектного положения закладными деталями;

– панелей наружных стен, имеющих сверхнормативные раковины и сколы ребер бетона на участках, предназначенных для образования герметизируемых зон в стыках и устройства оклеенной воздухоизоляции, конструкций лестничных маршей и площадок, имеющих трещины, обнажение арматуры, жировые и ржавые пятна на лицевых поверхностях, не отвечающих первой категории качества по истираемости бетона.

#### **3.1.2 Наружные и внутренние стеновые панели**

Использование сверхнормативных смещений стеновых панелей от вертикали и проектного положения ведет к снижению прочности и устойчивости панелей.

К деформации в конструкциях и узлах приводит использование:

– в качестве маяков материалов, прочность которых превышает установленную проектом прочность раствора постели на сжатие;

- невыдержанной нормируемой толщины маяков и отклонение отметок маяков относительно монтажного горизонта.

### **3.1.3 Панели перекрытий и покрытий**

Причинами снижения прочности опорных узлов являются:

- установка конструкций, произведенная на слой жесткого раствора толщиной более 20 мм с применением не предусмотренных проектом подкладок либо «насухо» на прокладки с последующей подчеканкой швов раствором;
- снижение глубины опирания панелей на несущие конструкции.

### **3.1.4 Вентиляционные блоки**

Снижение прочности проектных параметров воздухообмена возможно:

- при необеспечении совмещения каналов во время монтажа блоков;
- выполнении монтажа «насухо» без тщательного заполнения швов цементным раствором;
- необеспечении сохранности каналов от засорения и попадания посторонних предметов.

### **3.1.5 Санитарно-технические кабины**

К повреждению сантехкабины может привести отсутствие предусмотренных проектом зазоров между потолком и верхом сантехкабины.

Деформация кабины с нарушением ее гидроизоляции происходит в случаях:

- если поверхность под установку кабин не выровнена прокладками;
- не выполнена заделка раствором (бетоном) отверстий в панелях перекрытий в местах пропуска стояков.

### **3.1.6 Гипсобетонные перегородки**

К развитию деформаций в перегородках ведут:

- отсутствие предусмотренных проектом зазоров между потолком и верхней частью перегородки;
- невыполнение крепления перегородок к несущим конструкциям металлическими элементами и конопатка имеющихся зазоров паклей, смоченной в гипсовом растворе;
- отсутствие изоляции перегородок от монтажных стяжек гидроизоляционными материалами;
- незакрепление закладок некратных мест к основным конструкциям мелкоштучными материалами.

### **3.1.7 Лестничные марши и площадки**



Дефекты лестничных маршей и площадок, а также последствия их возникновения аналогичны приведенным в п. 2.4.8.

### **3.1.8 Блоки шахт лифтов**

Затруднение эксплуатация лифтов может быть вызвано:

- смещением граней установленных смежных элементов;
- отклонением от вертикали внутренней поверхности стен, превышающим нормативное;
- отклонением от проектной высоты порога дверного проема, превышающим нормативное;
- выполнением крепления блоков между собой с использованием непроектных крепежных элементов и подкладок.

### **3.1.9 Сборка и сварка монтажных соединений железобетонных конструкций**

Снижение прочности сооружений может быть вызвано следующими причинами:

- невыполнением отгиба крепежных скоб на требуемую величину;
- сваркой крепежных элементов конструкций до фиксации их в проектном положении;
- необеспечением длины сварных швов и высоты катета;
- поджогами основного металла крепежных элементов;
- применением не предусмотренных проектом крепежных элементов.

### **3.1.10 Антикоррозионное покрытие закладных и соединительных деталей**

Коррозия металла соединений является следствием:

- невыполнения антикоррозионного покрытия сварных соединений, а также участков закладных деталей и связей с нарушенным заводским антикоррозионным покрытием;
- нанесения покрытия по не очищенным от остатков сварочного шлака, брызг металла, жиров и других загрязнений поверхностям соединительных деталей и сварных соединений.

### **3.1.11 Замоноличивание стыков и швов**

К деформациям в соединениях приводят:

- применение для замоноличивания стыков и швов класса бетона и марки раствора, не соответствующих требованиям проекта;
- бетонирование без уплотнения, с пустотами и обнажением арматуры;
- использование на месте замоноличивания образцов бетона, не прошедших контроль качества;

– невыполнение требований проекта по прогреву замоноличенных стыков и швов в зимних условиях.

### **3.1.12 Водо-, воздухо- и теплоизоляция стыков наружных стен**

Протечки, продувание и промерзание стыков образуются в случаях:

- соединения и наклейки воздухозащитных лент, которые производились с пропусками, встык, с обратной нахлесткой, с пузырями, вздутиями и складками;
- установки уплотняющих прокладок с разрывом, без обжатия до требуемой величины;
- нанесения герметизирующей мастики в устье стыка с разрывами, пустотами, наплывами толщиной, превышающей проектную;
- применения мастик с фактическим сопротивлением отрыву от поверхности панели, не соответствующих показателям, приведенным в стандартах и технических условиях.

## **3.2 Жилые и общественные здания из каменных конструкций различных проектов**

### **3.2.1 Каменная кладка стен, столбов и перегородок**

Выполнение каменной кладки последующего этажа до укладки несущих конструкций перекрытий возведенного этажа, их анкеровки в стенах и замоноличивания швов между плитами перекрытий приводит к потере устойчивости кирпичных стен.

Разрушение опорных узлов может быть вызвано:

- несоблюдением требований по раскладке тычковых рядов в кладке;
- несоответствием кирпича в тычковых рядах нормативным требованиям в части прочностных характеристик;
- опиранием балок, прогонов, плит перекрытий, балконов и других сборных конструкций на ложковые ряды несущих стен при отсутствии цепной перевязки;
- отсутствием распределительных подушек под опорами балок и прогонов.

К снижению несущей способности стен приводит:

- большое количество кирпича-половняка в нагруженных участках стен;
- незаполнение раствором горизонтальных и вертикальных швов;
- превышение толщины горизонтальных и вертикальных швов нормативной;
- применение раствора, процесс схватывания которого начался.

Высота возведения стен и перегородок, а также разность высот выполненной кладки на наружных и внутренних стенах, превышающая

нормативные величины, может привести к потере устойчивости стен и перегородок.

Отклонение поверхностей и углов кладки стен и столбов от вертикали, превышающие нормативные, вызывает снижение прочности кладки.

Ослабление каменных конструкций не предусмотренными проектом отверстиями, бороздами, нишами, монтажными проемами может привести к снижению прочности и устойчивости.

Снижение прочности кладки возникает, если при разрыве кладки вертикальной штрабой не было произведено ее армирование.

Невыполнение горизонтальной гидроизоляции стен вызывает переувлажнение кладки.

К снижению несущей способности приводит армирование кладки стен, столбов и перегородок, выполненное с нарушением нормативных требований.

### **3.3 Здания жилищно-гражданского назначения**

#### **3.3.1 Установка оконных, балконных и дверных блоков**

К снижению надежности, значительным теплотерям могут привести:

- невыполнение защиты антисептированием и гидроизоляции поверхностей коробок оконных и дверных блоков, примыкающих к каменным стенам;
- отсутствие заделки зазоров между коробкой (подоконной доской) и каменной стеной термоизоляционными материалами;
- необеспечение предусмотренных проектом крепления коробок в проемах стен.

#### **3.3.2 Устройство кровель из рулонных материалов**

К снижению эксплуатационных качеств кровли приводит:

- выполнение пароизоляции с разрывами без заведения на выступающие элементы;
- несоответствие теплоизоляционных материалов требованиям проекта по влажности;
- укладка теплоизоляционных материалов с разрывами, сверхнормативными отклонениями от требований проекта по толщине и уклонам;
- несоответствие основания под гидроизоляцию требованиям по прочности, монолитности и ровности поверхности;
- необеспечение плотности прилегания к основанию рулонных материалов при их наклейке;
- несоблюдение величины нахлеста соседних полотнищ, допущение их перекрестной наклейки;

- невыполнение требований проекта по устройству примыкания мягкой кровли к парапету и выступающим частям;
- применение вместо битумных материалов и других видов мастик чистого битума.

### **3.3.3 Устройство оклеечной гидроизоляции под полы**

Снижение надежности гидроизоляции происходит в случаях:

- выполнения гидроизоляции по неподготовленной поверхности пола и участков стен на высоту примыкания рулонного ковра;
- наклейки полотнищ рулонного ковра без нахлеста, с пропусками, без плотного прижатия к основанию;
- применения чистого битума вместо битумных и других видов мастик.

## **3.4 Объекты производственного назначения**

### **3.4.1 Одноэтажные здания со стальным каркасом**

**3.4.1.1 Колонны.** Ведение монтажа конструкции без образования связевого блока, без крепления очередных конструкций к связевому блоку подкрановыми балками может вызвать потерю устойчивости конструкций, а также их обрушение в период монтажа.

Отсутствие приварки опорных плит баз колонн в связевых блоках к специальным швеллерам, заделываемым в фундаменты для передачи продольных горизонтальных сил со связевых колонн на фундаменты, приводит к снижению устойчивости колонн и деформациям конструкций в узлах сопряжений.

Снижение устойчивости колонн, деформации и обрушение колонн из-за увеличения их гибкости из плоскости поперечного ряда вызывают:

- невыполнение установки в уровне верха колонн в связевом блоке в плоскости каждой ветви связевых распорок для передачи нагрузок на одну диагональ вертикальных связей;
- отсутствие в уровне верха колонн нитки распорок, связывающей левые и правые ветви всех колонн ряда;
- невыполнение установки на уровне середины высоты здания, предусмотренных проектом двух ниток дополнительных распорок, связывающих ветви всех колонн ряда с вертикальными связями.

Наличие в подливке из цементного раствора под опорными плитами пустот, обнаруживаемых простукиванием, может повлечь снижение прочности опорных узлов и возможность их деформаций.

Наличие между строгаными поверхностями опорных плит и фрезерованными торцами баз колонн, зазоров, превышающих 1/1500 ширины ветви колонны, ведут к снижению прочности опорных узлов, деформации и смятию металла в опорных узлах.

К снижению прочности опорных узлов и их деформациям может привести смещение анкерных плиток относительно проектного положения.

Смещение анкерных болтов в фундаментах от разбивочных осей, превышающее 10 мм, влечет снижение прочности опорных узлов и даже возможность разрушения креплений.

Снижение прочности опорных узлов, уменьшение заделки анкерных болтов и возможность их выдергивания является следствием завышенных отметок головок анкерных болтов относительно проектного положения.

Занижение отметок головок анкерных болтов относительно проектного положения, в результате чего стержень болта выступает из гайки менее чем на 3 мм, приводит к снижению прочности опорных узлов, необеспечению несущей способности болтов, возможному разрушению опорных узлов.

Невыполнение установки в подкрановых частях колонн крайнего ряда в местах крепления опорных консолей под стеновые панели балок из швеллеров, соединяющих ветви колонн, может привести к снижению устойчивости элементов колонн и деформациям наружной ветви колонн.

К потере прочности стыков колонн, разрушению стыков и обрушению колонн может привести превышение одностороннего зазора более 0,0007 поперечного размера сечения колонны, если площадь контакта составляет менее 65 % площади поперечного сечения между фрезерованными поверхностями в стыках колонн.

Снижение прочности стыков колонн может быть в случаях, если в монтажных стыках колонн при приварке накладок не были оставлены неприваренные участки длиной 30 мм с каждой стороны до стыка.

**3.4.1.2 Стропильные фермы. Стропильные фермы из парных уголков.** К смещению опорных ребер ферм относительно осей оголовков колонн из плоскости поперечной рамы, превышающему допустимые, может привести:

- снижение прочности опорных узлов;
- неполное опирание ребер и снижение несущей способности и устойчивости колонн.

Уменьшение глубины опирания ферм на колонны, опирание опорного ребра не всей площадью может повлечь снижение прочности опорных узлов, возможное обрушение ферм.

Потеря прочности опорных узлов, обрушение ферм в процессе дальнейшего строительства может произойти, если стропильная ферма не опирается на колонну опорным ребром и висит на монтажных болтах.

Если после окончания монтажа ферм не были срезаны стальные пластины (или уголки), обеспечивающие жесткость отправочных элементов при транспортировке, то это может привести к снижению

прочности и увеличению жесткости узлов ферм, рассчитанных как шарнирные.

Незаполнение зазоров между фермами и опорными стойками на монтаже стальными прокладками, которые должны поставляться комплектно с фермами, может привести к снижению прочности крепления ферм к опорным стойкам и возможному срезу болтов.

Закрепление опорных стоек к колоннам болтами вместо монтажной сварки влечет снижение прочности узлов, а также срез болтов.

Допущение внеузловой передачи нагрузок на фермы с отступлением от проектного положения может привести к снижению прочности узлов и возникновению непроектных усилий.

При использовании плит покрытия шириной 1,5 м при длине панелей верхнего пояса ферм 3 м может произойти снижение прочности верхних поясов ферм, их перенапряжение вследствие появления изгибающих моментов.

К снижению прочности узлов ферм, возможному возникновению непроектных усилий приводит выполнение соединений смежных ферм в многопролетных зданиях с допущением отступлений от проекта: применение разрезной схемы вместо неразрезной или наоборот.

К снижению прочности ферм, возможным изменениям их расчетной схемы может привести приварка верхних поясов стропильных и подстропильных ферм к опорным стойкам, что проектом не допускается.

Снижение прочности опорных узлов и возможные деформации ферм вызывает опирание опорных ребер ферм на колонны с клиновидными зазорами, не заполненными стальными прокладками.

Занижение в креплениях ферм к опорным стойкам по сравнению с проектом количества болтов приводит к снижению прочности узлов и может вызвать обрушение ферм.

Выполнение соединений с фермами прогонов, расположенных на расстоянии 3 м от осей рядов, жесткими, а не подвижными, при покрытии из стального профнастила и двухслойных металлических панелей может привести:

- к снижению прочности креплений;
- необеспечению свободы горизонтального перемещения верхних узлов стропильных ферм.

К снижению прочности креплений и конструкций приводит выполнение крепления фахверковых стоек к фермам жестко, с применением прокатных двутавров и швеллеров, а не гибких пластин («уток»).

Если закрепление фахверковых стоек к фермам было выполнено в не предусмотренных проектом местах, то это может вызвать снижение прочности стропильных ферм.

**3.4.1.3 Подкрановые балки. Стальные разрезные сварные подкрановые балки двутаврового сечения пролетом 6 и 12 м с**

### **шарнирным опиранием на колонны через торцевые опорные ребра.**

Превышение смещения опорного ребра балки относительно оси колонны в продольном направлении выше допустимого вызывает снижение прочности опорного узла.

Превышение смещения оси рельса относительно оси подкрановой балки выше допустимого может привести к снижению устойчивости балки, возможным деформациям подкрановых балок и прекращению эксплуатации крана.

Выполнение опирания подкрановой балки на колонну нижним поясом, а не опорным ребром, может вызвать потерю прочности балки, устойчивости стенок и разрушение поясных швов балки.

К снижению устойчивости балок приводит отсутствие в зазорах между опорными ребрами смежных подкрановых балок монтажных инвентарных прокладок.

Снижение устойчивости каркаса здания может быть вызвано:

- невыполнением в связевом блоке сварного крепления подкрановых балок к консолям колонн через специальные пластины;
- отсутствием установки в связевом блоке тормозных балок в уровне верхних поясов подкрановых балок;
- неустановкой тормозных балок в уровне верхних поясов подкрановых балок в местах проектного расположения надкрановых связей.

К снижению прочности соединений приводят следующие дефекты:

- выполнение крепления фасонки тормозных ферм и листов тормозных балок к верхним поясам подкрановых балок прерывистыми, а не сплошными швами;
- монтаж листов настила в тормозных балках с напуском на верхний пояс подкрановых балок менее пяти толщин настила.

Снижение устойчивости конструкций может вызывать:

- зазор в температурном шве между торцами балок меньше требуемых 60 мм;
- приварка рифленого листа в температурном шве не к одной, а к обеим колоннам.

Закрепление крановых рельсов к верхнему поясу подкрановых балок с зазорами между подошвой рельса и поясом балок может привести к снижению прочности конструкций подкрановых путей.

Взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов в плане и по высоте, превышающее 2 мм, вызывает:

- снижение прочности подкрановых путей;
- ускоренный износ рельсов, повышенные динамические нагрузки на подкрановые конструкции и каркас здания.

Упорные и прижимные планки крепления рельсов, не соединенные между собой монтажной сваркой, могут привести к снижению прочности соединений.

Снижение устойчивости подкрановых путей и деформации подкрановых конструкций может вызвать невыполнение температурных швов по длине рельсов.

Смещение крановых упоров относительно проектного положения со смещением полок упоров относительно ребер жесткости подкрановых балок вызывает снижение устойчивости подкрановых путей и возможность потери устойчивости стенок подкрановых балок.

**3.4.1.4 Пути подвешенного транспорта.** Принятие разрезной схемы путей в отличие от решения типовой серии, где она неразрезная, приводит к снижению прочности узлов крепления и возможному увеличению опорных нагрузок и деформации креплений.

К снижению устойчивости путей может привести:

- выполнение стыков балок на накладках, а не сваркой встык;
- невыполнение в сварных стыках балок путей зачистки швов полок заподлицо с ездовой поверхностью полок балок.

Выполнение сварных стыков балок не в проектных местах (не менее 0,5 м от оси при пролете 6 м и 1,1 м – при пролете 12 м), а ближе к стропильным конструкциям, может повлечь снижение прочности стыков и возможность разрывов швов и обрушения балок.

Снижение надежности путей и усложнение условий их рихтовки вызывают:

- выполнение крепления балок к несущим конструкциям на сварке, а не болтовым соединением;
- отсутствие между балкой путей и подвесным столиком рихтовочного зазора.

Снижение устойчивости путей может произойти, если на овальных отверстиях не была выполнена приварка шайб.

К снижению прочности конструкций может привести невыполнение в предусмотренных проектом местах тормозных конструкций.

**3.4.1.5 Покрытия на основе стального профнастила.** Снижение прочности опорных узлов и жесткости диска покрытия может быть вызвано, если стальной профнастил или двухслойные металлические панели крепились к прогонам реже, чем это предусмотрено серией 1.460.2-10/88 (должно быть крепление на крайних опорах в каждой волне, на промежуточных – через волну, между смежными фермами у торца здания и в разрывах светоаэрационных фонарей – в каждой волне как на крайних, так и на промежуточных опорах).

Выполнение соединения настила между собой комбинированными заклепками с шагом, превышающим 250 мм, стыков настила по длине в пролете, а не на опорных элементах, может привести:

- к снижению устойчивости покрытия;
- уменьшению жесткости диска покрытия;
- возможным деформациям элементов покрытия.



Глубина опирания настила на крайних опорах менее 40 мм и на промежуточных – менее 60 мм может вызвать:

- снижение прочности опорных узлов;
- уменьшение жесткости диска покрытия;
- обрушение настила при действии местной нагрузки.

Установка самонарезающихся болтов или винтов без уплотнительных шайб приводит к снижению прочности соединений, неплотности крепления настила и коррозии металла настила.

Выполнение укладки настила до приемки работ по установке, проектному закреплению всех элементов конструкций на закрываемом настилом участке покрытия и окраски поверхностей, к которым примыкает настил, может повлечь следующие дефекты:

- снижение прочности покрытия;
- необеспечение прочности и долговечности узлов и конструкций.

К уменьшению прочности покрытия и возможному снижению несущей способности и долговечности настила приводит укладка листов профнастила и осаджение их в местах нахлестки с повреждениями цинкового покрытия и искажением формы.

Крепление настила пристрелкой дюбелями к несущим стальным элементам толщиной менее 5 или более 12 мм может повлечь снижение прочности покрытия и несущей способности стальных элементов и настила.

Снижение прочности соединений и возможность разрушения крепления настила могут явиться следствием следующих дефектов:

- установки дюбелей на расстоянии от края элемента настила менее двух диаметров дюбеля и с расстоянием между центрами дюбелей менее их двух диаметров;
- если диаметр соединений, полученных дуговой точечной сваркой, меньше 18 или больше 22 мм;
- сварка листов профилированного настила выполнена толщиной менее 0,8 мм;
- сварные соединения листов настила между собой выполнены не контактной точечной сваркой, а ручной дуговой.

Выпуклость точечного соединения, превышающая 4 мм, может привести к снижению прочности соединений.

Снижение прочности покрытия, необеспечение крепления и долговечности настила происходит, если при дуговой точечной сварке допущены прожоги настила и повреждения цинкового покрытия.

**3.4.1.6 Сборные железобетонные плиты покрытий. Сборные железобетонные предварительно напряженные ребристые плиты 3×6 и 3×12 м (основные) и 1,5×6 и 1,5×12 м (доборные).** Глубина опирания плит длиной 6 м менее 60 мм, а длиной 12 м – менее 75 мм (с учетом допусков) может привести к снижению прочности опорных узлов и возможному разрушению опорных участков плит и их обрушению.

Невыполнение приварки плит к стропильным конструкциям по ходу монтажа, предусмотренной во всех опорных узлах, доступных для наложения швов, может вызвать:

- снижение устойчивости конструкций покрытия;
- уменьшение жесткости диска покрытия;
- возможное обрушение стропильных конструкций.

Если не были выполнены сварные соединения накладками концов смежных продольных ребер плит в торцах здания, а при наличии мостовых кранов – и по поперечным температурным швам со стороны начала монтажа, то это может привести:

- к снижению устойчивости конструкций покрытия;
- уменьшению жесткости диска покрытия;
- возможной деформации в опорных узлах плит покрытия.

Снижение прочности покрытия, создание неразрезности, снижение несущей способности покрытия и возможность разрушения концов плит могут быть вызваны соединением в торцах здания и температурных швах концов плит смежных пролетов.

Выполнение приварки плит к стропильным конструкциям не по всей длине или ширине опирания, снижение толщины сварных швов при приварке плит против проектной может привести к снижению прочности опорных узлов и жесткости покрытия, возможности деформации в опорных узлах плит покрытия.

Снижение прочности плит, возможность их обрушения могут быть вызваны:

- допущением устройства отверстий в смонтированных плитах пробивкой, а не разрезанием бетона, рассверловкой или другим способом, обеспечивающим сохранность других элементов плит;
- невыполнением усиления плит после образования отверстий.

### **3.4.2 Многоэтажные здания со стальным каркасом**

**3.4.2.1 Монтаж конструкций.** Если в связевом или рамно-связевом каркасе не были выполнены вертикальные связи между колоннами или крепление их значительно ослаблено против проектного, то это может привести к снижению устойчивости каркаса здания и возможности обрушения конструкций в период монтажа.

К снижению устойчивости каркаса здания и возможному обрушению конструкций в период монтажа могут привести работы, выполненные на последующих ярусах до проектного закрепления конструкций нижележащих этажей.

Отклонения осей ригелей и балок от геометрических осей колонн, превышающие нормативные, могут снизить прочность колонн.

**3.4.2.2 Устройство узлов и стыков.** Отсутствие в рамных узлах крепления балок к колоннам на колоннах ответных ребер в уровнях

горизонтальных накладок по верхним и нижним поясам балок или напротив средней части балок приводит к снижению прочности опорных узлов, возможной потере устойчивости стенок колонн и их обрушению.

Если размеры горизонтальных и вертикальных накладок выполнены непроектными, их крепления ослаблены против проектных, то это может вызвать снижение прочности опорных узлов и возможность обрушения конструкций.

К потере прочности стыков колонн, а также возможности разрушения стыков и обрушению колонн приводит выполнение стыков колонн с дефектами.

Если в рамных узлах ферм и колонн по верхним поясам ферм и оголовкам колонн не были установлены горизонтальные накладки и фасонки с наложением сварных швов, то это может вызвать:

- снижение прочности опорных узлов;
- необеспечение восприятия проектных усилий;
- возможное обрушение конструкций.

Снижение устойчивости конструкций и обрушение балок может произойти, если в шарнирных узлах балок и колонн с креплением балок на опорных уголках верхние пояса балок не были развязаны в горизонтальной плоскости с помощью уголков с овальными отверстиями.

Снижение устойчивости конструкций и возможное обрушение второстепенных балок может произойти, если в шарнирных узлах:

- балочных клеток с этажным опиранием балок верхние пояса второстепенных балок не были развязаны над опорой в горизонтальном направлении;
- опирание ребер балок на оголовок стойки выполнено без крепления нижнего пояса одной из балок к колонне через приваренную к оголовку планку.

Если в рамных узлах балок и колонн с применением предварительно напряженных высокопрочных болтов были допущены зазоры между поверхностями колонн и торцами опорных ребер балок и не установлены ребра жесткости по верхним поясам балок, то это может вызвать снижение прочности опорных узлов и необеспечение их жесткости.

Монтаж конструкций с опиранием на пакеты стальных пластин, не сваренных между собой, приводит к перемещению опорных узлов и обрушению конструкций.

Опирание конструкций с образованием клиновидных зазоров, не заполненных стальными прокладками, приваренными к опорам, может вызвать поворот опорного сечения и деформацию конструкций.

Если приваренные сборочные и монтажные приспособления не были удалены, места их приварки не были зачищены заподлицо с основным металлом, то это вызовет создание концентраторов напряжений, с последующим образованием трещин и развитием деформаций.

К снижению прочности соединений при устройстве болтовых соединений в конструкциях приводит расширение существующих и прожиг новых отверстий огневым способом.

Монтаж конструкций, имеющих дефекты изготовления (заводские и монтажные), может стать причиной развития деформаций в элементах конструкций и узлах их сопряжений.

Проведение монтажа надземных конструкций до полного окончания работ по устройству подземных конструкций и обратной засыпки котлованов, траншей и пазух с уплотнением грунта до проектной плотности приводит к снижению устойчивости, деформациям и обрушению конструкций.

Снижение прочности конструкций и их разрушение при проектной нагрузке может быть вызвано:

- монтажом конструкций, имеющих деформации, превышающие допустимые;

- приваркой непроектных деталей или изделий к растянутым элементам конструкций или их частям поперек действия усилий.

Устройство болтовых соединений конструкций без заполнения имеющихся зазоров стальными прокладками, поставляемыми комплектно, приводит к срезу болтов.

Если в конструкциях, а также в узлах сопряжения главных и второстепенных балок и стоек многоэтажных зданий огневым способом вырезаны части сечения, то уменьшается сечение, создаются концентраторы напряжений.

Ускоренный коррозионный износ вызывает отсутствие у конструкций антикоррозионного защитного покрытия или использование менее стойкого вида покрытия по сравнению с проектным составом.

Невыполнение требуемых работ по консервации объектов при длительных остановках строительства приводит к снижению прочности соединений, ускоренному коррозионному износу.

### **3.4.3 Одноэтажные здания с каркасом из железобетонных конструкций**

**3.4.3.1 Колонны.** К снижению устойчивости конструкций и возможному их обрушению в период монтажа могут привести:

- монтаж колонн без образования связевого блока;

- невыполнение крепления монтируемых конструкций к связевому блоку распорками;

- закрепление вертикальных связей между колоннами и распорок к колоннам с отклонениями от проекта.

**3.4.3.2 Конструкции покрытия.** К снижению прочности опорных узлов может привести выполнение узлов опирания стропильных и подстропильных конструкций на колонны с отступлением от требований

типовых серий в части глубины опирания, размеров сварных швов, взаимных смещений осей.

К снижению прочности узлов и изменению проектной схемы загрузки стропильных конструкций (внеузловому опиранию) приводит смещение плит покрытия относительно узлов стропильных конструкций и опирание их не на закладные детали.

**3.4.3.3 Подкрановые балки.** Снижение прочности опорных узлов вызывают:

– закрепление сборных железобетонных подкрановых балок к колоннам стальными пластинами, установленными горизонтально, а не вертикально;

– снижение глубины опирания подкрановых балок на консоли колонн и уменьшение размеров сварных швов по сравнению с проектными.

Отсутствие установки под подошвой рельсов упругих прокладок из прорезиненной ткани толщиной 8–10 мм с двусторонней резиновой обкладкой приводит к снижению прочности подкрановых конструкций и повреждению балок.

Невыполнение температурных швов по длине балок и рельсов может привести к снижению прочности подкрановых балок.

Снижение прочности упоров будет наблюдаться, если крановые упоры установлены со смещением в сторону пролета подкрановых балок и выполнены без проектного крепления к верхнему поясу и без упорных брусьев из древесины.

Необеспечение проектного крепления рельсов к подкрановым балкам прижимными лапками (использование непроектных изделий, отсутствуют затяжка и стопорение гаек болтов) приведет к тому, что при работе кранов конструкции будут испытывать ударные воздействия.

#### **3.4.4 Многоэтажные здания с каркасом из сборных железобетонных конструкций по сериям 1.420-12, 1.420-6 и ИК-20/70**

*Каркасы – рамно-связевого типа. В поперечном направлении рамные узлы образуются приваркой по низу ригелей к консолям колонн и сваркой выпусков арматуры из ригелей и колонн в верхней зоне, в продольном направлении для обеспечения жесткости используются стальные связи и межколонные связевые плиты. Плиты перекрытий – ребристые. Ригели – прямоугольные или таврового сечения с опиранием плит на полки.*

**3.4.4.1 Конструкции каркаса.** Потеря устойчивости и возможное обрушение конструкций в период монтажа могут быть вызваны:

– монтажом конструкций, который велся без образования связевого блока;

- отсутствием связей между колоннами или их ненадежным креплением к колоннам;
- монтажом конструкций вышележащих этажей до полного завершения монтажа конструкций нижележащих ярусов с их проектным креплением.

Несоответствие зазоров между гранями колонн и торцами ригелей проектным при уменьшенной величине зазора затрудняет замоноличивание, при увеличенной – уменьшает глубину опирания ригелей и длину сварных швов по нижним поясам ригелей.

К снижению прочности узлов, деформациям в узлах и обрушению конструкций при расчетной нагрузке приводят:

- снижение размеров сварных швов крепления ригелей к консолям колонн против проектных;
- превышение в узлах сопряжения ригелей с колоннами несоосности выпусков арматуры допустимой величины;
- нарушение нормативных требований при подготовке стержней к ванной сварке;
- превышение допустимых переломов осей состыкованных выпусков арматуры ригелей и колонн.

Допущение нарушений ориентации ригелей в плане (разворот на  $180^\circ$ ), в результате чего три арматурных выпуска ригелей стыкуются с менее нагруженными колоннами крайних рядов, а два – с более нагруженными колоннами средних рядов, вызывает снижение прочности узлов и разрушение с обрушением конструкций при нагрузках менее расчетных.

Неустановка поперечной арматуры (хомутов) в узлах сопряжения ригелей и колонн в торцах температурных отсеков способствует снижению устойчивости конструкций, разрушению узлов и обрушению указанных ригелей.

Нарушение технологической последовательности сварочных работ (сначала привариваются закладные детали ригелей к консолям колонн, а затем растянутые выпуски арматуры в верхней зоне узлов) может вызвать снижение прочности узлов и разрушение сварных швов.

Невыполнение защиты сварных швов крепления закладных деталей ригелей к консолям колонн пластичным цементно-песчаным раствором М100 по всей длине опирания ригеля приводит к коррозии швов и снижению прочности опорных узлов.

К снижению прочности стыка и возможному обрушению конструкций могут привести:

- выполнение в стыках колонн соединений рабочей арматуры через накладку, а не ванной сваркой;
- превышение нормативных величин взаимных смещений выпусков арматуры;

- невыполнение установки поперечной арматуры;
- выполнение стыков колонн со стальными оголовками при взаимных смещениях стыкуемых колонн с использованием изогнутых стыковых накладок.

Неиспользование при монтаже в стыках колонн центрирующих и рихтовочных прокладок, невыполнение зачеканки швов жестким раствором М300 может снизить прочность стыка и привести к полной потере прочности.

К снижению устойчивости каркаса здания, отсутствию жесткого диска перекрытия, возможному обрушению конструкций в период монтажа приводят:

- невыполнение при монтаже плит перекрытия и покрытия первоочередной установки межколонных связевых плит с приваркой их ребер к закладным деталям ригелей в четырех точках;
- снижение глубины опирания плит перекрытия на полках ригелей и, соответственно, уменьшение длины сварных швов их крепления к закладным деталям ригелей.

### **3.4.5 Многоэтажные здания с каркасом из сборных железобетонных конструкций по серии 1.020-1/83 межвидового применения**

*Каркас связевый обуславливает необходимость обеспечения пространственной устойчивости здания при качественном устройстве дисков перекрытий и обеспечении их совместной работы с диафрагмами жесткости или вертикальными связями. Сопряжения элементов каркаса носят расчетный характер, и устройство их должно выполняться своевременно и качественно.*

**3.4.5.1 Конструкции каркаса.** Потеря устойчивости смонтированных конструкций и обрушение их в период монтажа являются следствием:

- выполнения монтажа колонн вышерасположенного яруса до полной сборки и омоноличивания швов перекрытий нижерасположенных этажей;
- отсутствие соединения диафрагм жесткости с ленточным монолитным фундаментом.

К снижению устойчивости смонтированных конструкций и возможному их обрушению в период монтажа приводят:

- невыполнение первоочередной установки и проектного закрепления межколонных плит;
- монтаж диафрагм жесткости не в полном количестве (должно быть не менее трех в одном температурном блоке);
- невыполнение установки в уровне верхнего монтируемого этажа диафрагмы жесткости;
- невыполнение проектных стыков панелей диафрагм жесткости здания;
- выполнение соединительных пластин и сварных швов крепления размерами меньше проектных;

- заполнение вертикальных и горизонтальных швов раствором пониженной прочности;
- замоноличивание шпонок раствором или бетоном пониженной прочности;
- несоответствие нормативным значениям размеров швов между панелями;
- невыполнение проектных узлов крепления ригелей;
- снижение размеров швов в сварных соединениях по сравнению с проектными.

Снижение устойчивости каркаса здания, невозможность создания жестких дисков перекрытий могут быть вызваны:

- отсутствием слоя подстилающего раствора при монтаже плит перекрытий;
- уменьшением катета шва по сравнению с проектным;
- отсутствием шпонок на боковых гранях плит;
- невыполнением замоноличивания швов либо выполнением замоноличивания низкомарочным раствором без очистки швов от строительного мусора.

Производство монтажа стеновых панелей до окончания монтажа диска перекрытия данного яруса или до полного проектного закрепления панелей нижележащего яруса приводит к снижению устойчивости каркаса здания, возможности возникновения местных деформаций и обрушения конструкций.

Возникновению непроеekтных усилий в конструкциях и возможности их повреждения способствуют:

- невыполнение температурных швов в перекрытиях и в покрытии;
- отсутствие укладки двух слоев толя на полке одного из ригелей при устройстве монолитного участка.

Невыполнение монтажа бесполочных ригелей в лестничной клетке вдоль наружных стен снижает устойчивость конструкций.

Отсутствие соединения связевых плит смежных пролетов между собой арматурными стержнями с приваркой их двусторонними швами и к ригелям – с приваркой односторонними швами снижает устойчивость каркаса здания.

К снижению устойчивости конструкций лестничной клетки приводит невыполнение монтажа плит перекрытий в пролетах, смежных с лестничной клеткой.

Несоблюдение требований о замоноличивании стыков колонн одновременно с выполнением работ по устройству первого над стыком перекрытия яруса способствует снижению прочности стыков и возможности обрушения конструкций.

Невыполнение проектного крепления (через арматурные стержни) однополочных ригелей к пристенным и средним связевым плитам, а



через них – к колоннам вызывает снижение устойчивости конструкций и опрокидывание ригелей.

Передача на колонны бокового давления через стены подвала является причиной снижения устойчивости колонн.

#### **3.4.5.2 Характерные нарушения, допускаемые при монтаже рассмотренных видов сборных железобетонных конструкций.**

Выполнение монтажа конструкций, не имеющих документа о качестве, а также маркированных надписей и знаков приводит к снижению прочности конструкций, увеличивая вероятность их обрушения.

Ведение монтажа конструкций, не имеющих проектных закладных деталей или имеющих смещенные закладные детали относительно проектного положения, затрудняет устройство проектных узлов и стыков и снижает их несущую способность.

Деформации, повреждения в процессе строительства и эксплуатации могут возникнуть, если:

- в конструкциях имеются раковины с обнажением арматуры;
- отклонения от геометрических параметров конструкций и их закладных деталей превышают нормативную величину;
- толщина защитного слоя бетона снижена против проектной;
- величина трещин и сколов бетона превышает допустимую.

Ускоренная коррозия арматуры и выход из строя конструкций происходят в случаях:

- несоблюдения в применяемых конструкциях требований проекта по плотности и водонепроницаемости бетона, видам цемента и классов арматуры;
- нарушения нормативных требований по трещиностойкости железобетонных конструкций;
- невыполнения предусмотренной проектом антикоррозионной защиты конструкций.

Снижение прочности опорных узлов и обрушение конструкций возникают:

- при опирании конструкции на пакеты пластин, не сваренных между собой и не приваренных к опорным конструкциям;
- монтаже конструкций без подстилающего слоя раствора.

Замоноличивание узлов, стыков и швов бетоном и раствором заниженной прочности, плотности, морозостойкости вызывает снижение прочности узлов сопряжения.

К необеспечению проектного заземления колонн и обрушению конструкций могут привести:

- замоноличивание колонн в стаканах фундаментов, выполненное без очистки их от грунта и строительного мусора с использованием в качестве выравнивающего слоя щебня, металлических пластин и других материалов вместо мелкозернистого бетона;
- замоноличивание колонн, произведенное не на полную высоту стаканов;
- неизвлечение деревянных клиньев;

- применение бетона замоноличивания с прочностью ниже проектной;
- монтаж конструкций каркаса и ограждений при незамоноличенных стыках колонн с фундаментами.

Опираание балок покрытия, ферм, подкрановых балок на колонны с клиновидными зазорами, не заполненными стальными прокладками, снижает прочность опорных узлов, вызывает их деформацию и повреждение.

Смещение опорных частей монтируемых конструкций относительно закладных деталей опорных конструкций приводит к снижению прочности опорных узлов и обрушению конструкций.

Снижение устойчивости, жесткости каркаса и деформации конструкций могут вызвать:

- закрепление вертикальных связей между колоннами к гибким обоймам, выполненным из-за отсутствия или смещения от проектного положения закладных деталей;
- снижение против проектных размеров сварных швов крепления вертикальных связей к колоннам.

Невыполнение заделки швов между плитами перекрытия и покрытия либо выполнение ее низкомарочным раствором, а не мелкозернистым бетоном требуемой прочности, вызывает снижение устойчивости каркаса и не обеспечивает жесткость диска перекрытий и покрытий.

К уменьшению жесткости диска перекрытий и покрытий приводит невыполнение очистки швов от строительного мусора перед их омоноличиванием.

Невыполнение защиты закладных деталей и сварных швов от коррозии после выполнения приварки конструкций и повреждения защитного слоя из цинка способствует ускоренному развитию коррозионных повреждений швов и закладных деталей.

Прочность и долговечность конструкций снижается, если при монтаже конструкций допускалось разрушение защитного слоя бетона с обнажением рабочей арматуры и приваркой к ней различных деталей.

Невыполнение работ по требуемой консервации объектов при длительной остановке строительства снижает прочность и долговечность узлов, конструкций и объектов в целом.

#### **3.4.6 Конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно» по серии 1.460.3-14**

*Конструкции применяются в отапливаемых зданиях с неагрессивной или слабоагрессивной средой.*

Невыполнение проектного крепления профнастила к верхним поясам стропильных ферм приводит:

- к снижению устойчивости покрытия;
- необразованию жесткого диска покрытия;
- невыполнению развязки из плоскости верхних поясов ферм;
- необеспечению восприятия горизонтальных сил, передающихся на покрытие;
- обрушению конструкций.

Если нижние пояса ферм не развязаны из плоскости вертикальными связями и распорками, то это вызывает:

- снижение устойчивости ферм покрытия;
- необеспечение передачи усилий с нижнего пояса на верхний диск покрытия;
- деформацию и обрушение конструкций.

Отсутствие вертикальных продольных связей, устанавливаемых в местах прохождения путей подвешенного транспорта, приводит:

- к снижению устойчивости покрытия;
- необеспечению передачи тормозных усилий от кранов на диск покрытия;
- деформации конструкций.

К снижению прочности узлов сопряжения ферм с колоннами может привести отсутствие установки по две упорные шайбы на надколонниках со стороны смонтированных ферм.

Невыполнение обварки опорной плиты по периметру в креплениях стального надколонника к оголовкам железобетонных колонн снижает прочность узлов сопряжения и вызывает возможность обрушения конструкций.

Снижение устойчивости конструкций покрытия будет наблюдаться, если крепление верха стоек продольного фахверка произведено через перекидные балки, крепления которых к фермам в вертикальной плоскости выполняются жесткими вместо гибких по проекту.

### **3.4.7 Наружные стеновые ограждения**

**3.4.7.1 Стеновые панели. Однослойные панели из ячеистых и легких бетонов по серии 1 030.1-1 толщиной от 200 до 350 мм.** Монтаж цокольных стеновых панелей, выполненный до установки фундаментных балок с опиранием на столбики из случайных материалов и изделий без устройства гидроизоляции, может вызвать:

- изменение проектной схемы работы панелей;
- деформации панели и снижение долговечности цокольных участков стен.

Невыполнение опирания нижнего ряда панелей из ячеистого бетона на кирпичный цоколь высотой 300 или 600 мм, выложенный поверх фундаментных балок, отсутствие защиты влаго- и морозостойкими материалами вызывает ускоренное разрушение цокольных панелей.

Превышение максимальной высоты самонесущих стен, предусмотренных серией, приводит к смятию панелей в местах опирания на фундаментные балки и обрушению стен.

Превышение максимальной высоты навесных стен, предусмотренной серией для опорных консолей (столиков) использованного в здании типа стен, вызывает смятие опорных участков панелей и разрушение швов крепления опорных консолей к колоннам.

Ускоренный коррозионный износ опорных консолей происходит, если стальные опорные консоли не металлизированы и не защищены от коррозии.

Приварка стержней крепления стеновых панелей к колоннам без стальных прокладок толщиной 10 мм исключает создание зазора с боковыми поверхностями колонн, что может привести к необеспечению независимых деформаций каркаса и стен, а также повреждению креплений и закладных деталей панелей.

Применение для крепления стеновых панелей стержней и пластин с размерами, превышающими проектные (диаметр стержней и толщину пластин), приводит к невозможности обеспечения независимых деформаций каркаса и стен.

Использование для крепления стеновых панелей стержней и пластин с размерами, меньшими проектных, не обеспечивает восприятие горизонтальных сил от ветра и приводит к деформации панелей.

Превышение проектной величины горизонтальных и вертикальных швов между панелями исключает требуемое обжатие упругих прокладок из пороизола или гернита, снижает теплотехнические качества стен.

Снижение против проектной величины горизонтальных и вертикальных швов между панелями затрудняет заполнение швов и уменьшает теплотехнические качества стен.

Незаполнение швов цементно-песчаным раствором снижает теплотехнические качества стен и их долговечность.

Снижение в креплениях стальных опорных консолей к колоннам параметров сварных швов, что не обеспечивает их проектную несущую способность, вызывает обрушение яруса панелей.

Невыполнение защиты упругих прокладок приводит к воздействию на них атмосферных осадков и солнечной радиации, снижая долговечность прокладок.

Выполнение крепления стальных переплетов к стеновым панелям на сварке, а не на болтовых соединениях, с использованием овальных отверстий в переплетах, увеличивает воздействие на переплеты и остекление.

**3.4.7.2 Стены из трехслойных панелей с обшивкой из металла с теплоизоляцией из пенополиуретана для одноэтажных промышленных зданий и сооружений по серии 1.432.2-24.**

Ускоренная коррозия металлических панелей стен и их механические повреждения возникают, если:

- в цокольной части стен не смонтированы легкобетонные панели высотой 900 или 1200 мм от чистого пола и толщиной не менее 250 мм по серии 1.030.1-1;

- при затяжке болтов в неподвижных креплениях панелей к ригелям и при подвеске панелей допущены заметные прогибы наружной обшивки панелей под шайбами.

Укрупнения панелей в карты на стендах, рабочие поверхности которых не имеют амортизирующих прокладок, может повредить лицевые поверхности панелей.

Снижение надежности и теплотехнических характеристик стен происходит, если поэлементная и укрупнительная сборка стенового ограждения выполнена с нарушениями технологии, требующей выполнения монтажа снизу вверх, начиная с установки угловых панелей.

Выполнение крепления панелей к несущим конструкциям с использованием непроектных соединительных изделий не обеспечивает проектные условия работы конструкций.

Применение газопламенной резки панелей вместо использования дисковых пил (что запрещается) приводит к повреждению защитного покрытия обшивки панелей, снижая долговечность ограждения.

Установка на панели кронштейнов для сантехнической и электротехнической разводки и других целей (что не допускается) вызывает деформацию обшивок и повреждение защитного покрытия.

Снижение теплотехнических свойств и долговечности стен вызывают следующие дефекты:

- невыполнение уплотнения стыковых соединений прокладками из пенорезины или из морозостойкого эластичного пенополиуретана с клеевым слоем, а в деформационных и температурных швах – пенополиэтиленовыми полыми прокладками;

- отсутствие герметизации стыковых соединений клеем-герметиком или герметизирующей мастикой «Тиокол» строительного назначения.

Долговечность панелей снижается, если:

- соединительные детали крепления панелей не имеют цинкового покрытия;

- при использовании панелей с алюминиевыми облицовками допускается их контакт с конструкциями каркаса в зданиях со стальным каркасом.

Несвоевременная установка погонажных изделий для ограждения горизонтальных и вертикальных швов, парапетов стен и температурных швов снижают теплотехнические свойства и долговечность ограждения.

Отступления от серии при устройстве узлов крепления опорных консолей к колоннам и стойкам, стоек фахверка к фундаментам, цокольных ригелей к легкобетонным панелям; рядовых, стыковых,

опорных, надоконных и подоконных ригелей к колоннам и стойкам; панелей к ригелям, а также при устройстве вертикальных и горизонтальных швов приводят к деформации конструкций, снижению их теплотехнических свойств и долговечности.

## **4 ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

---

**П**овреждениями называют отклонения состояния конструкций от первоначального, полученные в процессе эксплуатации: искажение формы, изменение характеристик материалов, соединений; прогибы, перемещения, уменьшение сечения из-за коррозии, биохимических воздействий и пр.

В общем виде повреждения зданий и отдельных элементов могут характеризоваться как:

- осадочные, вызванные деформациями оснований фундаментов;
- конструктивные, связанные с особенностями схем зданий,
- температурно-влажностные, зависящие от соблюдения нормативных требований по эксплуатации;
- износосвые, связанные с изменением свойств материалов конструкций во времени;
- эксплуатационные, вызванные несоблюдением нормативов и требований по техническому обслуживанию и ремонту конструкций.

Отдельно следует учитывать повреждения чрезвычайного характера, вызванные стихийными бедствиями.

При эксплуатации зданий и сооружений важно оценить характер повреждений, причины их появления и степень опасности. Классификация причин, вызывающих повреждения представлена на рисунке 4.1.

Повреждения от силовых воздействий чаще всего проявляются в результате перегрузки элементов конструкций, а также от динамических и вибрационных воздействий, возникающих от оборудования, установленного с нарушением технологических норм.

Повреждения от механических воздействий возникают в результате нарушения правила технической эксплуатации зданий.

Повреждения от физических воздействий появляются в результате близкого расположения элементов конструкций к источникам тепловыделения, а также при воздействии отрицательных температур.



Рисунок 4.1 – Классификация причин повреждений зданий в процессе эксплуатации

Повреждения от химических воздействий проявляются в различных видах коррозии стальных, бетонных и железобетонных конструкций и являются одним из существенных факторов преждевременного износа строительных конструкций.

Повреждения от атмосферных воздействий возникают в результате воздействия атмосферной влаги, перегрузки покрытий снегом

и значительными отложениями производственной пыли вблизи источников их выделений.

В зависимости от характера процессов, приводящих к разрушению, повреждения бывают:

– механические (приложение сверхрасчетной нагрузки от оборудования; деформации грунтов оснований; сейсмическое воздействие; механическое повреждение);

– физико-химические (воздействие растворов солей, кислот, щелочей, грунтовой влаги, электрического тока, биологических деструкторов).

Чаще всего здания и конструктивные элементы преждевременно выходят из строя от суммарного воздействия вышеперечисленных факторов.

Распределение повреждений зданий по видам конструкций в соответствии с данными М. Д. Бойко представлено в таблице 4.1, а по видам деформаций – в таблице 4.2.

По степени разрушения можно выделить три категории повреждений:

I – повреждения аварийного характера, вызванные дефектами проектирования, строительства, стихийными явлениями (ливнями, снегопадами, затоплением), а также нарушениями правил эксплуатации зданий и сооружений.

Устраняются заменой элементов (конструкций);

II – повреждения несущих конструкций, обусловленные внешними и технологическими факторами, нарушением

правил эксплуатации. Они не являются аварийными и устраняются при капитальном ремонте усилением или заменой;

III – разрушения второстепенных элементов (выпадение штукатурки, отдельных плиток облицовки и т. п.), устраняемые при текущем или капитальном ремонтах.

Таблица 4.1 – Распределение повреждений зданий по видам конструкций

Вид конструкции	Количество повреждений, %
Основания	3
Железобетонные	17
Деревянные	7
Стальные	6
Кирпичные	18
Теплоизоляция	9
Сочетание различных конструкций	40

Таблица 4.2 – Распределение повреждений зданий по видам деформаций

Вид деформации	Количество повреждений, %
Отслаивание отделочного слоя	10
Промерзание	16
Протечки	18
Зыбкость	7
Трещины	49



Распределение повреждений конструкций зданий по степени опасности в соответствии с данными М. Д. Бойко приведено в таблице 4.3.

**Таблица 4.3 – Распределение повреждений конструкций зданий по степени опасности**

Категория повреждений	Количество повреждений, %
I	7
II	9
III	13

При определении технического состояния конструкций повреждения распределяют на группы и оценивают качественно и количественно аналогично дефектам (см. раздел 1).

#### 4.1 Анализ повреждений

Для предотвращения создания аварийных ситуаций, вызванных развитием во времени повреждений конструкций необходимо тщательное изучение причин возникновения повреждений и их влияния на техническое состояние конструкций. Специальными организациями и отдельными авторами проводится анализ причин повреждений строительных конструкций зданий и сооружений. В качестве примера в таблице 4.4 приведены количественные соотношения между основными причинами повреждений строительных конструкций зданий и сооружений, установленные по результатам анализа Т. В. Дормидонтовой.

**Таблица 4.4 – Количественное соотношение между повреждениями конструкций**

Причины повреждений конструкций	Количество случаев повреждения конструкций без обрушения, %	Количество случаев обрушения конструкций, %
Целенаправленное нарушение сплошности конструкций	1 (0,5)	–
Случайные нарушения сплошности конструкций	14 (6,9)	1 (0,5)
Влажностная коррозия	24 (11,9)	–
Химическая коррозия	8 (3,9)	–
Морозная коррозия	14 (6,9)	–
Электрохимическая коррозия	–	–
Другие виды коррозии	3 (1,5)	–
Изменчивость технологических параметров (прочности материалов, геометрических размеров и т. п.)	8 (3,9)	7 (3,5)
Изменения условий опирания и соединения конструкций между собой при монтаже	11 (5,4)	15 (7,5)
Отсутствие проекта при строительстве	–	–
Целенаправленное изменение расчётной схемы конструкций и сечения при ремонтах	1 (0,5)	–
Замена марок и классов бетона и арматуры при		

изготовлении	2 (0,9)	1 (0,5)
Замена конструкций при монтаже и реконструкции	4 (1,9)	1 (0,5)
Замена материалов и конструкций, создающих нагрузку на расчётный элемент	4 (1,9)	6 (2,9)
Несоблюдение норм проектирования	16 (7,9)	17 (8,4)
Строительство неквалифицированными кадрами	13 (6,4)	15 (7,5)
Неквалифицированная эксплуатация	12 (5,8)	3 (1,5)
ИТОГО	135 (67,2)	66 (32,8)

Приведенные данные показывают, что почти 50 % повреждений конструкций вызваны различными видами коррозии. Аналогичные исследования, выполненные по результатам почти тридцатилетних обследований многочисленных конструкций зданий с оценкой их технического состояния НИЛ «Строительные конструкции, основания и фундаменты» им. д-ра техн. наук, профессора И. А. Кудрявцева Белорусского государственного университета транспорта, показывают, что различные виды коррозии являются причиной более 60 % повреждений конструкций зданий и сооружений.

## **5 ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ПО ВИДАМ МАТЕРИАЛОВ**

---

**П**овреждения конструкций вызывают многочисленные факторы. Степень их воздействия на конструкции различна. Однако при воздействии однотипных факторов она в первую очередь зависит от материала, из которого изготовлены конструкции.

### **5.1 Воздействие на конструкции повышенных температур и огня**

Из года в год количество пожаров увеличивается примерно пропорционально росту средств, затраченных на капитальное строительство. По статистическим данным пожары возникают с установившейся частотой. Убытки от разрушения зданий во время пожара составляют примерно 15–18 % общих потерь. При пожарах в

жилых и административных зданиях температура в помещении поднимается до 1100 °С при продолжительности 1–2 ч.

В театральных зданиях и в больших магазинах пожары длительностью в 2–3 ч повышают температуру в помещении до 1100–1200 °С.

При пожарах строительные конструкции повреждаются от разрушения их материала или изменения его механических характеристик, значительных деформаций, вызванных перегревом конструкций, разрушением конструкций и соединений от продольных деформаций при нагреве. Из-за неравномерного температурного нагрева может изменяться расчетная схема элементов, работающих в составе неразрезных систем.

Величина повреждений зависит от вида и положения конструкции, ее материала, температуры нагрева конструкций и длительности пожара.

От высоких температур более 250 °С и при пожарах в эксплуатируемых зданиях возможны большие деформации и обрушения. Это вызвано следующими причинами:

1) нагрев стальных конструкций и арматуры в железобетонных и армированных каменных конструкциях приводит к падению ее прочности и чрезмерному удлинению, что ведет к изменению геометрии конструкции и большим деформациям. Сжатые армированные зоны конструкций при разогреве и удлинении арматуры растрескиваются и разрушаются;

2) бетон и каменная кладка при ограниченных деформациях испытывают большие температурные напряжения, что вызывает потерю их несущей способности;

3) бетон и каменная кладка становятся хрупкими из-за мгновенного изменения объема кварцевой составляющей при температуре более 500 °С;

4) тушение пожара водой неравномерно охлаждает бетонные и каменные конструкции и вызывает в них появление трещин.

При обследовании конструкций после пожара возможно использовать оценку температурного воздействия на конструкции по внешним признакам согласно таблице 5.1.

**Таблица 5.1 – Примерная температура нагрева по внешним признакам**

Наименование обследуемого элемента	Характер изменения внешнего вида, формы и цвета	Температура нагрева, °С
Железобетонные конструкции	Оседание сажи на поверхности	100–400
	Появление на поверхности конструкций микротрещин. Цвет бетона бледно-розовый	300–500
	Трещины видны невооруженным глазом; ширина трещин до 0,5 мм; цвет бетона от розового до красного	400–550
	Выкол заполнителя; трещины шириной до 1 мм; цвет бетона – красный	500–700

	Сколы бетона с обнаженной арматурой; цвет бетона от красного до желтого На поверхности множество трещин; отделение крупного заполнителя от растворной части бетона и его оплавление; цвет бетона темно-желтый	700–800  900 и выше
Ненагруженные стальные конструкции без специальных огнезащитных средств	Деформаций нет Разрушение защитного лакокрасочного покрытия Цвет стали изменяется от светло-желтого до красно-фиолетового Цвет стали – синий Образование на поверхности светлой окалины Коробление конструкций; на поверхности легко очищаемый нагар; обгоревшие кромки То же; на поверхности тонкий слой трудноочищаемой окалины Провисание конструкции под собственной массой; местами слой окалины отслаивается Оплавление участков; толстый слой окалины Сильно деформированы; изломы, надрывы, оплавление и пережженные участки	До 200 200–250 220–280  300–450 480–520 500–660  650–850  800–900  >900 1400
Нагруженные несущие стальные конструкции без специальных огнезащитных средств	Деформации, ведущие, как правило, к обрушению	550–600

*Продолжение таблицы 5.1*

Наименование обследуемого элемента	Характер изменения внешнего вида, формы и цвета	Температура нагрева, °С
Кладка из силикатного кирпича	Появление трещин; прочность снижается до 2 раз Интенсивное образование трещин; прочность снижается в 5 раз	700  900
Кладка из глиняного кирпича	Поверхностные трещины в кирпиче; большее их количество в цементно-песчаном растворе Оплавление и отслоение в кирпиче на глубину до 10 мм, шелушение раствора Кирпич поврежден на глубину более 10 мм; раствор выкрошен на глубину 20–30 мм Размягчение легкоплавких глин кирпича. Разрушение конструкций	До 800  800–900  1000–1200  1200–1400
Гипсовая штукатурка	Образование частых трещин шириной до 0,2 мм; прочность уменьшилась на 50 % Ширина трещин достигает 0,5–1 мм; прочность уменьшилась на 80 %. Разрушение гипсового камня	200–300  600–700
Цементно-песчаная	Розовый цвет на поверхности Светло-серый цвет; поверхностное шелушение	800–900 800–900

штукатурка		
Известковая штукатурка	Штукатурка отслаивается слоями толщиной до 2 мм; на поверхности слой копоти То же, при толщине более 2 мм (наблюдается в течение 2–3 недель после пожара)	600–800  >900
Элементы конструкций из гранита	Разрушение конструкций	850–900
То же, из известняка	То же	650–750
Деревянные конструкции	Обугливание древесины на глубину до 10 мм Образование крупнопористого древесного угля на глубину до 20 мм Глубина обугливания древесины более 30 мм Обрушение нагруженной конструкции	450–570 600–800  820–1000 1300 и выше
Оконное стекло, стеклянные блоки	Размягчение или слипание Округление Потеря формы	700–750 800 850
Отливки из стекла (блоки, бутылки и пр.)	Размягчение, слипание Потеря формы	600 800
Радиаторы, трубы из литейного чугуна	Образование капель	1000–1200
Свинец (элементы зачеканки, обмотки кабеля и пр.)	Скругление углов или образование капель	300–500
Цинк (элементы пайки), свинец	Образование капель	100

Окончание таблицы 5.1

Наименование обследуемого элемента	Характер изменения внешнего вида, формы и цвета	Температура нагрева, °С
Алюминий и его сплавы (детали конструкций, посуда)	Образование капель	650
Латунь, фурнитура дверей, бронза	Скругление углов, образование капель	900
Серебро (украшения, столовые принадлежности)	То же	900
Бронза (люстры, ручки)	Образование капель	1000
Медь, литой	То же	1100–1200

чугун (трубы, радиаторы и пр.)		
Масляные краски и эмали в покрытиях конструкции	Темнеют без нарушения целостности покрытия Темнеют и покрываются трещинами	200 300
Масляные краски	Чернеют и отслаиваются	400
Краски всех видов в покрытиях конструкций	Осыпаются, цвет определяется цветом наполнителя	500
Любое окрасочное покрытие, кроме термостойкого	Полностью выгорает	700

Во время пожара происходит прямое сгорание органики (древесины, полимерных материалов, органических кровельных покрытий). Металлические конструкции под действием огня могут терять прочностные показатели до 80 %. Воздействие высоких температур на бетон или цементный камень (в т. ч. штукатурку и пр.) предопределяет дегидратацию гидрата окиси кальция. Это само по себе снижает несущую способность, а при тушении пожара водой или просто при контакте с влажным воздухом происходит обратная реакция. Продукт гидратации увеличивается в объеме до двух раз с разрушением поверхностного слоя, что обуславливает проникновение пламени внутрь конструкции.

При пожарах большой интенсивности и длительности деревянные и металлические конструкции, как правило, приходят в негодность, в то время как железобетонные и каменные конструкции частично сохраняют эксплуатационные качества.

## **5.2 Воздействие пожара на отдельные виды конструкций**

### **5.2.1 Бетонные и железобетонные конструкции**

Бетон является несгораемым и достаточно огнестойким материалом. Однако под воздействием высоких температур в железобетонных конструкциях изменяются свойства цементного камня и заполнителя.

При нагреве железобетонный элемент удлиняется на величину, большую удлинения бетона и меньшую удлинения арматуры. В элементе возникают внутренние напряжения с растяжением в бетоне и сжатием в арматуре. Арматура расширяется больше, чем бетон, и разрывает его.

При нагреве арматуры до 300 °С не происходит снижения ее механических свойств, а прочность бетона в зависимости от заполнителя снижается на 20–40 %.

При температуре выше 300–500 °С возникает ползучесть и релаксация напряжения в бетоне и арматуре. Напряжение в арматуре и бетоне между трещинами снижается, а удлинение железобетонного элемента приближается к удлинению бетона. Деформации от резкого температурного расширения арматуры и бетона оказывают такое же влияние на напряженное состояние, как и усадка бетона при нормальной температуре.

Цвет бетона, подвергшегося огневому воздействию, изменяется в зависимости от вида заполнителя и вяжущего. При температуре до 300 °С тяжелый бетон принимает розовый оттенок, при 400–600 °С – красноватый, при 900–1000 °С – бледно-серый. Коэффициент линейного расширения заполнителей изменяется в широких пределах. Вследствие этого при умеренно высоких температурах сцепление заполнителя с цементным камнем резко снижается. Происходит температурное «растопливание» бетона. Микротрещины в бетоне образуются при  $t \approx 300 \dots 400$  °С. При дальнейшем увеличении температуры образуются макротрещины. Образцы, прогретые при  $t \geq 700$  °С, после охлаждения разрушаются. Взрывной характер разрушения бетона наблюдается при быстром нагреве поверхности. Это часто происходит в статически неопределимых системах, преднапряженных и тонкостенных элементах.

При пожаре наблюдается значительный (до 1000 °С) перепад температур между обогреваемой и необогреваемой поверхностями. Вследствие этого прочность по сечению конструкции изменяется. Предельная сжимаемость бетона с повышением температуры нагрева на 200, 400 и 500 °С увеличивается, соответственно, в 1,6; 2,2 и 2,3 раза по сравнению с ненагреваемым бетоном. Остаточные пределы прочности бетона на сжатие различных слоев бетона в момент разрушения резко отличаются.

Нагрев железобетонных конструкций при пожаре приводит к различным повреждениям и снижению их прочности (таблица 5.2).

При длительном воздействии огня при пожарах с температурой 1000–1100 °С температура арматуры достигает 550 °С для конструкций с толщиной защитного слоя 2,5 см уже через 1 час горения, а при толщине защитного слоя 1 см – через 45 минут, при этом модуль упругости бетона снижается на 40–60 %. При температуре арматуры 550 °С происходит снижение прочности бетона – в среднем на 60 %.

**Таблица 5.2 – Повреждения конструкций после пожара**

Состояние поверхности конструкции после пожара	Степень повреждения	Характеристика повреждения	Снижение прочности конструкции
Наличие следов сажи и копоти	Слабая	Повреждения, не снижающие несущей способности конструкций: наличие следов сажи и копоти; шелушение	На 5 %

		отдельных слоев поверхности бетона; незначительные сколы бетона	
Изменение серого цвета до розового и буро-желтого; элементы полностью покрыты сажей и копотью	Средняя	Повреждения, снижающие несущую способность конструкций: изменение серого цвета бетона до розового и буро-желтого; элементы, полностью покрытые сажей и копотью; наличие сколов бетона по углам; обнажение арматурной сетки на плоских элементах площадью около 10 %; обнажение угловой арматуры в элементах прямоугольной формы; отделение наружных слоев бетона без их обрушения; трещины шириной до 0,5 мм	На 15 %
Цвет бетона желтый	Сильная	Повреждения, значительно снижающие несущую способность конструкции: цвет бетона – желтый; сколы бетона – до 30 % сечения элемента; обнажение арматурной сетки в плоских элементах на площади более 10 %; обнажено более 50 % рабочей арматуры прямоугольных элементов; выпучен один стержень арматуры элемента; отвалились поверхностные слои бетона; трещины шириной до 1 мм	На 30 %
Цвет бетона темно-желтый	Полная	Повреждения, свидетельствующие о критическом состоянии конструкции: цвет бетона – желтый; сколы бетона – от 30 до 50 % площади сечения элемента; обнажено до 90 % арматуры; выпучилось более одного стержня арматуры; нарушена анкеровка, сцепление арматуры с бетоном; нагрев арматуры свыше 300 °С; отрыв закладных и опорных деталей; зыбкость конструкции; прогибы свыше 1/50 пролета; трещины шириной более 1 мм	На 65 % и более

Если температура пожара не превысила 400 °С и продолжительность составила не более 6–7 часов, то сооружение подлежит эксплуатации при условии некоторого ремонта. Если температура пожара приблизилась к 600 °С, то сооружение обычно сильно страдает, однако не обрушится. При температуре пожара свыше 800 °С сооружение может обрушиться и, как правило, не подлежит восстановлению.



Характерными признаками аварийного состояния конструкций могут быть: прогибы конструкций, превышающие 1/50 пролета с образованием трещин с шириной раскрытия свыше 2 мм; выколы и отслоения бетона, при которых площадь поперечного сечения элемента уменьшается более чем на 30 %.

Оценка состояния основных типов железобетонных конструкций в зависимости от температуры нагрева приведена в таблицах 5.3, 5.4.

**Таблица 5.3 – Повреждения колонн после пожара**

Контролируемый показатель	Качественная и количественная характеристики.			
	Состояние конструкции после воздействия на ее поверхность температуры, °С			
	до 700	от 700 до 900	от 900 до 1200	1200
Сажа и копоть	В отдельных местах или отсутствуют	В отдельных местах	Все покрыто	Слабая закопченность, сажи нет
Изменение цвета бетона	Светло-красный	Темно-желтый	Темно-желтый	От темно-желтого до серого
Состояние бетона	Откалывается молотком только по углам сечения на глубину до 10 мм	Откалывается молотком по углам сечения на глубину до 20 мм		Быстрое отслаивание защитного слоя на глубину более 30 мм при легком простукивании
	Трещин на поверхности нет	Поверхность бетона покрыта сеткой неглубоких температурно-усадочных трещин	Сквозные трещины с шириной раскрытия до 1 мм	
	Сколов бетона нет	Один-два скола бетона размером не более 15х15 см и глубиной не более толщины защитного слоя бетона	Сколов бетона больше двух (размером не более 15х15 см и глубиной не более толщины защитного слоя)	Сколов бетона (по площади и глубине) больше
	Отслаивание поверхностных слоев местами на площади не более 10 см <sup>2</sup> каждое	Отслаивание поверхностных слоев бетона местами на площади от 10 до 30 см <sup>2</sup> каждое	Отслаивание поверхностных слоев бетона местами на площади от 30 до 50 см <sup>2</sup> каждое	Отслаивание бетонных слоев полностью по всей поверхности

**Окончание таблицы 5.3**

Контролируемый показатель	Качественная и количественная характеристики.			
	Состояние конструкции после воздействия на ее поверхность температуры, °С			
	до 700	от 700 до 900	от 900 до 1200	1200
			Бетон подвергается	Следы огневой эрозии или

			взрывообразно му разрушению на поверхности массивных сечений на глу- бину 20– 30 мм или образование сквозных отверстий, сос- тавляющих до 20 % площади элемента	взрывообразного разрушения бетона на глубину бо-лее 30 мм в массивных сечениях или об- разование сквозных отверстий (более 20 % площади сборного элемента). Нарушение сцепления арматуры с бе-тоном по всему пери-метру сечения. Отслаивание защитного слоя бетона в начале огневого воздействия
Звук простукивани я	Звонкий	Звонкий	Глухой	Глухой
Оценка прочности бетона зубилом	Остается неглубокий след	Остается заметный след	Легко вбивается в бетон на глу- бину 10–20 мм	
Состояние рабочей арматуры	Нормальное	Нормальное	Оголение арматуры. Выпучивание до 30 % сжатой аратуры	Разрывы арматурных стержней или пережог; выпучивание более 50 % сжа-той арматуры
<b>Общее состояние конструкций</b>				
	Состояние поверхности бетона элементов незначительно отличается от конструкций, не поврежденных огнем	Состояние по- верхности бето- на, отдельных элементов отли- чается от кон- струкций, не по- врежденных ог- нем, наличием большого коли- чества неглубоких температур-но- усадочных трещин	Наличие боль- шого количества сквозных трещин; снижение прочности бетона от прогрева в ядре сечения до 50 % первоначальной	Потеря устойчивости сжатого элемента; наличие разрушенных участков конструкций; изломы консолей колонн; обрыв растянутой арматуры в консолях; разрушение элементов составных и решетчатых колонн
<b>Степень повреждения</b>				
	Слабая,	Средняя,	Сильная,	Аварийная, более

	5–10 %	11–25 %	25–50 %	50 %
--	--------	---------	---------	------

**Таблица 5.4 – Контроль состояния плит перекрытия, покрытия и балок после пожара**

Контролируемый показатель	Качественная и количественная характеристики. Состояние конструкции после воздействия на ее поверхности температуры, °С			
	до 700	от 700 до 900	от 900 до 1200	1200
Сажа и копоть	В отдельных местах или отсутствуют	В отдельных местах	Все покрыто	Слабая закопченность, сажи нет
Изменение цвета бетона	Нет	От серого до розоватого	От бледно-серого до белого	Темно-желтый
Звук при простукивании и бетона	Звонкий	Звонкий	Глухой	Глухой
Оценка прочности бетона зубилом	Остается неглубокий след на поверхности бетона	Остается заметный след на поверхности бетона	Легко вбивается в бетон на глубину 5–10 мм	Легко вбивается в бетон на глубину 10–20 мм
Состояние рабочей арматуры	Нормальное	Нормальное	Перекаливании арматуры и снижение ее прочности на 50 % и более	Разрывы арматурных стержней, пережог и выпучивание арматуры
Состояние бетона	Откалывается молотком с трудом на глубину до 10 мм	Местные взрывообразные и поверхностные разрушения бетона массивных сечений на глубину до 20 мм	Наличие сильно раскрытых (более 1 мм) нормальных трещин, проходящих в сжатую зону бетона; местные глубокие повреждения в сжатой зоне; образование косых трещин. Обрушение защитного слоя бетона. Образование продольных трещин защитного слоя бетона в углах сечения элемента; поврежденный огнем бетон кро-	Сквозные трещины в растянутой зоне шириной раскрытия 1–5 мм и с признаками разрушения сжатой зоны элемента. Наличие чрезмерных трещин в бетоне от главных растягивающих напряжений, трещин в опорных узлах и трещин, пересекающих зоны анкеровки растянутой арматуры; сквозное взрывообразное разрушение бетона тонкостенных частей (попок, панелей), взрывообразное разрушение или следы огневой эрозии бетона массивных сечений на глубину более 20 мм. Потеря сцепления арматуры

			шится и осыпается. Образование трещин в стыках частей элемента	с бе-тоном у концов элемента или более 1/4 про-лета в его середине
--	--	--	---	--

Окончание таблицы 5.4

Контролируемый показатель	Качественная и количественная характеристики.			
	Состояние конструкции после воздействия на ее поверхность температуры, °С			
	до 700	от 700 до 900	от 900 до 1200	1200
<b>Общее состояние конструкций</b>				
	Остаточного температурного прогиба статически определимого элемента нет	Остаточный прогиб статически определимого элемента не превышает предельно допустимого	Наличие остаточных прогибов конструкций, превышающих в 2–4 раза предельные значения	Наличие остаточных прогибов конструкций, превышающих в 5–10 раз предельные. Горизонтальный выгиб более 1/100 пролета. Разрушение элементов решетчатых конструкций (балок, ферм)
<b>Степень повреждения</b>				
	Слабая, 5–10 %	Средняя, 11–25 %	Сильная, 25–50 %	Аварийная, более 50 %

При пожаре важно знать также, существует ли опасность обрушения несущих конструкций, так как это определяет выбор мер по спасению людей и для борьбы с огнем.

При продолжительном пожаре местные разрушения бывают обычно небольшие. Однако вследствие нагрева и удлинения конструкций происходят обрушения колонн и стен.

Приведем последовательность разрушения конструкций на примере железобетонных колонн здания по данным экспериментальных пожаров.

В течение 25–45 минут от начала пожара в колонне образуются продольные трещины. Далее наблюдаются выгибы, равные нескольким сантиметрам без потери несущей способности под нагрузкой. Заметные трещины, перпендикулярные действию нагрузки, возникают за несколько минут до потери несущей способности в растянутой зоне. Бетон в сжатой зоне разрушается в месте максимальной кривизны вследствие расслоения и выкрашивания. Разрушение всех колонн происходит в пределах 1 секунды. При этом температура арматуры достигала 500–700 °С.

### 5.2.2 Каменные и кирпичные конструкции

Кладка из применяемых в строительстве материалов (глиняный кирпич, силикатный кирпич, блоки из легкого бетона) является огнестойкой.

Воздействие огня и воды при тушении пожара приводит к отслаиванию поверхностного слоя кладки, разрушению раствора и при очень высоких температурах – к образованию оплавлений. Кладка же из естественных камней, содержащих кварц (гранит, песчаник, андезит, порфирит) при температуре около 575 °С претерпевает значительное скачкообразное увеличение их объема. Кладка из естественных камней также разрушается при одностороннем нагреве и тушении водой.

В таблице 5.5 приведены ориентировочные данные об ослаблении прочности кладки при огневом воздействии с температурой до 800 °С за счет уменьшения ее рабочей толщины.

**Таблица 5.5 – Уменьшение толщины стен при пожаре в зависимости от длительности воздействия огня**

Строительный материал	В миллиметрах		
	Продолжительность пожара, мин		
	30	90	180
Кирпич глиняный	0–1	0–5	5
Силикатный кирпич	0–1	0–5	10–15
Раствор, бетон	0–5	15–25	30–50
Газобетон	0–5	25–40	50–70

Практика показывает, что под воздействием огня прочность строительного кирпича не уменьшается, но происходит разрыхление и разрушение раствора между кирпичами. Давлением струй воды при тушении огня разрыхленный раствор вымывается из швов кладки. Если раствор разрушен на глубину более 3 см каменная кладка считается не способной воспринимать нагрузку и подлежит разборке. Помимо разрушения кладки при пожаре происходят повреждения каменных конструкций от деформаций, вызванных температурными перепадами и линейными удлинениями строительных конструкций, что приводит к образованию в каменных конструкциях трещин и разрушений.

Оценка состояния конструкций из керамического кирпича в зависимости от температуры нагрева приведена в таблице 5.6.

**Таблица 5.6 – Характер повреждения конструкций из керамического кирпича при огневом воздействии**

Характер повреждений конструкций из кирпича	Режим температурного воздействия, °С	Степень повреждения
Повреждение кладки стен и столбов из глиняного кирпича при пожаре на глубину не более 5 мм (шелушение); вертикальные и косые поверхностные трещины, проходящие по несущим или малонагруженным участкам стены, имеющим проемы; несущая	До 800	Слабая

способность конструкций не снижается		
Огневое повреждение кладки армированных и неармированных стен и столбов из глиняного кирпича на глубину 5–10 мм. Наличие вертикальных или косых трещин на высоту не более 2 рядов кладки; наклоны и выпучивание стен не более чем на 1/6 их толщины; несущая способность конструкций снижается на 15–20 %; небольшие повреждения кладки под опорами ферм, балок, прогонов и перемычек в виде трещин, пересекающих не более двух рядов кладки	800–1000	Средняя

Окончание таблицы 5.6

Характер повреждений конструкций из кирпича	Режим температурного воздействия, °С	Степень повреждения
Огневое повреждение кладки стен и столбов более 10 мм; снижение несущей способности конструкций при эксплуатационных нагрузках более чем на 20 % сопровождается наличием вертикальных и косых трещин в несущих участках стен и столбов на высоту более двух рядов кладки; наклоны и выпучивание стен до 1/3 и более их толщины; кладка под опорами ферм, балок, прогонов и перемычек повреждена; образование значительных по длине и раскрытию трещин	1000–1200	Сильная
Полное разрушение кирпичной кладки	1200–1400	Аварийная

### 5.2.3 Стальные конструкции

При температуре нагрева до 400 °С стальные конструкции могут эксплуатироваться без ограничения. При нагреве конструкций до температур 400–600 °С предел текучести и предел прочности стали падают, возрастают удлинения, а после ее охлаждения восстанавливаются прежние значения. Нагрев стальных конструкций до температур 600–900 °С приводит к дальнейшему падению прочностных характеристик стали, конструкции сильно деформируются, их эксплуатация возможна с ограничением нагрузок. При длительном воздействии температур более 900 °С конструкции к дальнейшему использованию непригодны.

Оценка состояния стальных конструкций в зависимости от температуры нагрева приведена в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Характер повреждения стальных конструкций при огневом воздействии

Характер повреждений элементов стальных конструкций	Предполагаемый режим температурного воздействия, °С	Степень повреждения

Мало деформированы – небольшие вмятины и пробоины второстепенных и не сильно нагруженных элементов; местные искривления, не снижающие несущей способности конструкций; на поверхности легко очищаемый нагар и обгоревшие кромки; твердость стали соответствует ее марке; снижение прочности конструкций на 15 %	Непродолжительный, при температуре 400–600 °С. При температуре более 500 °С сталь в темноте светится	Слабая
Повреждения, снижающие несущую способность конструкций, но не сопровождающиеся потерей несущей способности основных элементов; на поверхности нагар и тонкий слой окалины, местами отслаивающийся; твердость стали снижается на 10–15 %; прочность конструкций – на 30 %	То же, при температуре 700–900 °С. При температуре 700 °С свечение стали становится темно-красным	Средняя

Окончание таблицы 5.7

Характер повреждений элементов стальных конструкций	Предполагаемый режим температурного воздействия, °С	Степень повреждения
Потеря несущей способности конструкции при эксплуатационных нагрузках; разрушение узлов и соединений, разрыв по всему сечению или искривление на большой длине основных элементов; имеется толстый слой окалины; Образование твердой и хрупкой пленки серовато-синего или черного цвета и язв губчатого строения; сильная деформация нагруженных конструкций, появление участков конструкций с изломами, разрывами оплавленного материала; твердость стали снижается на 30 % и более; прочность конструкций – на 65 % и более	Длительный, при температуре свыше 900 °С	Сильная
Разрушение отдельных конструкций и частей здания; имеют место оплавление и пережог металла	Длительный, при температуре около 1400 °С	Аварийная

Помимо коробления стальных конструкций от пожара возникают повреждения конструкций от их линейного удлинения (коэффициент линейного удлинения стали равен  $1,2 - 1,4 \cdot 10^{-5}$ ). При возрастании температуры на каждые 100 °С один метр длины стальной конструкции удлиняется в среднем на 1,3 мм. Так как обычно линейные деформации элементов ограничены узлами, опорами, заделками в стены и т. п., то на последние передаются большие распорные усилия. В результате происходят искривления, сдвиг и обрушение опорных, а вместе с тем и вышележащих конструкций.

#### 5.2.4 Деревянные конструкции

Процесс разрушения древесины при нарастании высокой температуры происходит следующим образом. Так как древесина – плохой проводник тепла, то при повышении температуры в первую очередь нагреваются наружные слои. До температуры 100 °С свойства древесины подвергаются лишь незначительному изменению. По данным Гольдеса, в этой области температур прочность древесины не снижается. Наоборот, она даже немного возрастает, так как при нагреве испаряется влага, т. е. сначала древесина претерпевает усадку, хотя расширение при повышении температуры оказывает противоположное действие. Эта особенность является важнейшим фактором для борьбы с пожаром.

По литературным данным, древесина начинает разрушаться при температуре 150 °С (другие авторы считают 180 °С пределом начала превращения лигнина с термическим разложением на составные части). При этом образуются горючие газы, которые создают давление наружу, смешиваются с воздухом и сгорают в пламени. При сгорании древесных газов выделяется достаточно тепла, чтобы обеспечить разложение более глубоких слоев древесины. Они тоже выделяют газы, которые, вырываясь наружу под давлением, сгорают.

При длительном воздействии высокой температуры и незначительной возможности теплоотвода температура загорания может быть значительно ниже. В Килтской лаборатории противопожарной техники были поставлены опыты по определению загорания деревянных обшивок при температуре 90 °С (например, пожар в бане-сауне). Древесина при длительном нагреве при 90 °С подвергалась экзотермическому процессу разложения, т. е. процесс шел с выделением тепла. Разрыв стенок волокон приводил древесину в периферическое состояние. «Этот процесс разложения зависит от температуры и ускоряется ею во всевозрастающих размерах. Если возможности отвода освобождающегося тепла препятствует хорошая теплоизоляция, как это чаще всего бывает в случае с сауной, то в материале возникает аккумуляция тепла, следствием которой является медленный разогрев вплоть до самовозгорания древесины». После 208 рабочих часов с 8-часовым ежедневным нагревом при температуре помещения 90 °С было установлено внезапное повышение температуры до 290 °С в течение 30 мин. В результате чего древесина загорелась. Те составные элементы древесины, которые не переходят в газообразное состояние, образуют слой древесного угля над еще не охваченными огнем, совершенно не поврежденными глубоко лежащими слоями древесины. Пористый древесный уголь очень плохо проводит тепло (его теплопроводность составляет 15–20 % теплопроводности нормальной древесины). Процесс сгорания замедляется. Последней фазой процесса является сгорание древесного угля с образованием жара. При этом глубоколежащие слои древесины снова нагреваются, разлагаются, выделяют газы, образуют



древесный уголь, который сгорает при очень высокой температуре. Процесс повторяется до тех пор, пока древесина не сгорит по всему сечению.

Кордина опубликовал данные опытов, поставленных в Институте строительного материаловедения Технического университета в Брауншвейге, согласно которым скорость обгорания древесины составляет от 0,04 до 0,08 см/мин, или соответственно от 2,4 до 4,8 см/ч и зависит от местных условий (размеры сечения, качество древесины, содержание влаги, циркуляция воздуха и т. д.).

Деревянные перекрытия старой конструкции, состоящие из строганных досок, балок, накатного черного пола, глинистой или песчаной засыпки, а также нижней обшивки и штукатурки, теряют несущую способность при пожарной нагрузке из-за прогорания после предварительного обрушения наката черного пола в течение 13–40 мин. Деревянные перекрытия с подвесным потолком из штукатурки на горючем основании обладают общей продолжительностью огнестойкости 45–55 мин, причем сам подвесной потолок прогорает за 30–35 мин.

Деревянные стойки теряют свою несущую способность примерно после 33 мин независимо от сечения. Случайные усадочные трещины снижают продолжительность огнестойкости. Эксперимент и опыт показывают, что поведение деревянных конструкций при пожаре мало чем отличается от поведения конструкций из других строительных материалов. Поэтому Муллинс делает вывод: высокие изоляционные свойства древесины обеспечивают ей известную сопротивляемость воздействию пожара. Она горит медленно, обугливаясь на поверхности. Несгоревшая древесина сохраняет свою форму и прочность. Обрушение происходит постепенно лишь при значительном уменьшении площади поперечного сечения. При быстро потушенном пожаре обугленная лишь на поверхности древесина может быть допущена к эксплуатации, если это не портит внешний вид сооружения.

Оценка состояния деревянных конструкций в зависимости от температуры нагрева приведена в таблице 5.8.

**Таблица 5.8 – Характер повреждения деревянных конструкций при огневом воздействии**

Характер повреждения конструкции	Режим температурного воздействия, °С	Степень повреждения
Высыхание с выделением летучих веществ	110	–
Пожелтение	110–150	–
Образование коричневой окраски	150–250	–
Возникновение следов воспламенения древесины	250–300	Слабая
Обугливание древесины на глубину до 10 мм	450–570	Слабая
Образование крупнопористого древесного угля на глубину 0–20 мм	600–800	Средняя

Глубина обугливания древесины более 30 мм	820–1000	Сильная
Обрушение конструкции	1300 и более	Аварийная

### **5.3 Воздействие отрицательных температур на основания и конструкции зданий**

При отрицательных температурах основания под фундаменты, состоящие, в основном, из глинистых и пылеватых грунтов, мелких и среднезернистых песков, промерзают, что может вызвать увеличения их объема – пучение грунтов. В таких грунтах вода по капиллярам и порам поднимается над уровнем грунтовых вод и находится в связанном виде. Связанная вода замерзает не сразу и по мере замерзания перемещается из зон толстых оболочек в зоны с оболочками меньшей толщины; это объясняется подсосыванием воды из нижних слоев в зону замерзающего грунта. При этом объем увеличивается и при температуре  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$  давление от льда достигает 20 Па, что вызывает разрушение материала фундаментов и вышележащих стен.

Результаты исследований показывают, что при промерзании особенно пылеватых, суглинистых и глинистых грунтов сильно нарушается их структура: весь массив промерзшего грунта пронизывается включениями, прослойками и линзами льда, связь в контактах минеральных частиц нарушается, происходит свертывание коллоидной части дисперсных грунтов, часть связанной воды при последующем оттаивании переходит в воду свободную.

Линзы и прослойки льда в определенных условиях могут образовываться настолько мощными, что в сумме будут составлять слой, больший слоя промерзшего грунта. При оттаивании ледяных прослоек создается местное переувлажнение грунта, которое чрезвычайно понижает его прочность. Наряду с этим оттаивание мелких и мельчайших включений льда также создает условия, уменьшающие сопротивление грунта сдвигающим усилиям, повышает его водопроницаемость и обуславливает неустойчивость структуры при оттаивании. Грунт, подверженный замораживанию и последующему оттаиванию, приобретает взрыхленную структуру, что обуславливает дополнительную его осадку под нагрузкой.

Процесс промерзания грунтов сопровождается изменением их начальной влажности: в глинистых грунтах влажность увеличивается; в водонасыщенных песках (при промерзании в открытой системе) начальная влажность уменьшается, а в малоувлажненных – увеличивается.

Вода в грунте основания независимо от того, является ли она поверхностной, грунтовой или капиллярной, всегда создает опасность промерзания грунта из-за повышения его теплопроводности при увлажнении. Поскольку при замерзании влаги и дополнительном

подсосу, вызванном замерзанием, содержание ее в грунте увеличивается на 5–10 % и более, при резком оттаивании грунт нередко полностью разжижается и теряет свою несущую способность. Положение усугубляется, если весной в основание поступают еще и талые воды. В таких случаях более опасным становится даже не само пучение, а его последствия – деформации при оттаивании увлажненного основания.

Согласно данным исследований проф. С. С. Вялова, сопротивление мерзлого грунта при длительном действии нагрузки (длительное сопротивление) в несколько раз меньше его сопротивления мгновенно действующей нагрузке. Эта особенность мерзлых грунтов, по мнению Н. А. Цытовича, объясняется главным образом свойствами льда, содержащегося в мерзлых грунтах и цементирующего минеральные частицы грунтов. При длительном действии нагрузки лед медленно, но непрерывно течет, что в значительной степени и обуславливает пластичность и текучесть дисперсных грунтов.

Промерзание и выпучивание грунтов опасны только для наземных сооружений, поскольку уже на глубине примерно 1,5 м от поверхности нет разницы в колебаниях дневной и ночной температур, а на глубине 10–30 м не ощущается изменение зимних и летних температур.

Некоторые конструкции, например цокольные части зданий, находятся в зоне переменного увлажнения и периодического замораживания. Отрицательная температура (если она ниже расчетной или не приняты специальные меры для защиты конструкций от увлажнения), приводящая к замерзанию влаги в конструкциях, разрушающе действует на здания.

При замерзании воды в порах материала объем ее увеличивается, что создает внутренние напряжения, которые все возрастают вследствие сжатия массы самого материала под влиянием охлаждения. Давление льда в замкнутых порах весьма велико – до 20 Па. Разрушение конструкций в результате замораживания происходит только при полном (критическом) влагосодержании, насыщении материала. Вода при замерзании увеличивается в объеме лишь на 10 %. Следовательно, если в порах имеется место для замерзающей влаги, если влажность материала конструкции не превышает 85 %, то давления на стенки не возникает.

Вода начинает замерзать у поверхности конструкций, а поэтому разрушение их под воздействием отрицательной температуры начинается с поверхности, особенно с углов и ребер. Максимальный объем льда получается при температуре  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , когда вся вода превращается в лед. Интенсивность замерзания влаги зависит от объема пор. В крупных порах и пустотах вода превращается в лед при температуре ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , так как в ней растворены вещества, понижающие температуру

замерзания. В капиллярах диаметром  $10^{-5}$  см и менее вода замерзает при температуре ниже  $-25$  °С.

Пористые материалы, сообщающиеся с наружной поверхностью крупными порами, не разрушаются. Если такие поры связаны волосяной сетью капилляров и все они заполнены влагой (насыщенное состояние), то при ее замерзании они разрушаются. Самым устойчивым к замораживанию является материал с однородными и равномерными порами, наименее устойчивым – с крупными порами, соединенными тонкими капиллярами, так как перераспределение в них влаги затруднено.

Напряжение в конструкциях зависит не только от температуры охлаждения, но и от скорости замерзания и числа переходов через  $0$  °С; оно тем сильнее, чем быстрее происходит замораживание. Камни и бетоны с пористостью до 15 % выдерживают 100–300 циклов замораживания. Уменьшение пористости, а следовательно, и количества влаги повышает морозостойкость конструкций.

Влияние влаги на процесс разрушения конструкций неодинаково. В одних случаях она как поверхностно-активное вещество ускоряет разрушение, в других, являясь хорошим растворителем, действует в качестве химически активной агрессивной среды. Наличие на поверхности и в теле каменных материалов пор, пустот, капилляров и микротрещин приводит к увеличению площади их удельной поверхности, что повышает возможность контакта конструкции со всеми видами влаги.

Молекулы воды обладают дипольными моментами. Они ориентируются в зоне действия силовых полей, образование которых связано с развитием микротрещин или дефектов кристаллических структур. Дипольная ориентация воды в адсорбционном слое повышает ее плотность и вязкость. В результате этого вода приобретает упругость, близкую к упругости материала конструкции. По мере сужения микротрещин упругость воды повышается, вследствие чего усиливается ее расклинивающее действие. Возрастание внутренних напряжений, вызванных расклинивающим действием влаги, приводит к значительному снижению прочности материала. Толщина слоя адсорбционно-связанной воды примерно  $1,5 \cdot 10^{-5}$  см; расклинивающее действие влаги возникает при толщине полимолекулярных пленок около  $3 \cdot 10^{-5}$  см.

Силы капиллярного давления воды при заполнении пор и капилляров вызывают сложные напряжения в материале каменной конструкции. Растягивающие напряжения зависят от поверхностного натяжения

$$P_a = (2\alpha / r) \cos \theta,$$

где  $\alpha$  – поверхностное натяжение воды, Па;  
 $r$  – радиус капилляра, м;

$\theta$  – угол смачивания, град.

Эти напряжения вызывают снижение давления жидкости в капиллярах и возникновение напряжений сжатия и изгиба в материале стенок капилляра. В условиях эксплуатации указанное взаимодействие имеет более сложный характер, так как капилляры связаны между собой, однако принятое упрощение дает вполне удовлетворительное представление о влиянии капиллярных сил на напряжения в материале, возникающие при его увлажнении. Например, пользуясь приведенной формулой, можно определить капиллярное давление при полном смачивании материала, имеющего капилляры со средним радиусом  $r = 10^{-5}$  см,  $P_a = 4,9 \cdot 10^6$  Па.

Разрушение каменных материалов связано с одновременным воздействием отрицательных температур и влаги. Замерзающая в порах и капиллярах вода увеличивается в объеме, вызывая значительные напряжения в материале конструкции. При естественном увлажнении в условиях эксплуатации вода в крупных порах и капиллярах поднимается на меньшую высоту, чем в мелких. Кроме того, вода из крупных пор перемещается в смежные мелкие, так как сила капиллярного отсоса в них большая. При замерзании влаги свободные крупные поры служат резервным объемом для компенсации расширения влаги в мелких порах и капиллярах. В связи с этим крупнопористые материалы более морозостойки. При замораживании материала, поры которого полностью заполнены водой, могут возникнуть значительные напряжения, во много раз превосходящие прочность наиболее стойких материалов.

Давление в порах при замерзании

$$(QdT)/T = V_B dP_B - V_L dP_L,$$

где  $Q$  – скрытая теплота плавления льда,  $3,35 \cdot 10^5$  Дж/кг;  
 $T$  – абсолютная температура замерзания воды, 273 К;  
 $V_B, V_L$  – удельный объем соответственно 1 кг воды и льда;  
 $V_B = 1 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>;  $V_L = 1,091 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>;  
 $dP_B, dP_L$  – давление соответственно воды и льда, Па.

Когда изменение давления воды и льда одинаково, т. е.  $dP_B = dP_L$ , приведенная выше формула может быть записана в следующем виде:

$$Q/T = (V_B - V_L) dP.$$

Если задать определенные значения температуры, можно вычислить то давление, которое оказывает замерзшая вода на материал конструкции. Так, при понижении температуры на 1 °С давление в порах материала каменной конструкции увеличится на  $dP = 1,347 \cdot 10^7$  Па (135 кг/см<sup>2</sup>). Следовательно, при понижении температуры до минус 20 °С в материале, поры которого полностью заполнены водой, напряжения,

вызванные давлением льда, достигнут  $2,7 \cdot 10^8$  Па (2700 кг/см<sup>2</sup>). Когда вода свободно вытекает из пор, в которых образуется лед, ее давление равно нулю.

*Повреждение бетона при замораживании и оттаивании.* Повреждение бетона при замораживании и оттаивании развивается вследствие изменения объема отдельных фаз и структурных элементов бетона. Увеличение объема воды при переходе в лед, различие в коэффициентах линейного расширения продуктов гидратации цемента, клинкерных зерен и зерен мелкого и крупного заполнителя создают предпосылки для появления внутренних напряжений в бетоне при замораживании и оттаивании. Тот факт, что разрушение резко ускоряется при замораживании бетона, насыщенного водой, а введение в структуру бетона определенного количества мелких воздушных пор существенно повышает морозостойкость, свидетельствует о решающей роли замораживания воды в порах бетона. Существенным является то, что температура замерзания воды зависит от размера вмещающих ее пор и капилляров; чем меньше размер пор, тем при более низкой температуре вода переходит в лед.

В настоящее время процесс повреждения при замораживании бетона представляют следующим образом. При охлаждении поверхности насыщенного водой бетона до температуры ниже 0 °С в наружном слое бетона вода в крупных порах переходит в лед. В постепенно охлаждающемся бетоне зона замерзания воды распространяется все глубже. Однако в наружном слое не вся вода переходит в лед. В микропорах она длительное время остается в жидком состоянии. Причиной этого является переохлаждение и особое состояние воды в тонком слое на поверхности пор и капилляров. Замерзание воды в крупных порах резко ограничивает перемещение незамерзшей воды в пористой структуре бетона. При дальнейшем понижении температуры, когда начинает замерзать вода в микропорах и объем воды увеличивается, перемещение ее в крупные поры, заполненные льдом, ограничено. Возникает внутреннее давление, которое в принципе может разрушить бетон.

Иначе происходит замерзание воды, если бетон насыщен раствором соли. В начальный период охлаждения в лед превращается лишь часть воды в крупных порах. С замерзанием части воды концентрация солевого раствора в порах увеличивается. Дальнейший переход воды в лед происходит постепенно, по мере понижения температуры. При температуре эвтектики в твердое тело переходит оставшийся объем солевого раствора. При такой картине замерзания бетона разрушение его происходит примерно в 20–40 раз быстрее, чем в случае замораживания бетона, насыщенного водой.

Не исключая указанный механизм деструкции бетона при замораживании, ученые Германии развивают идею об ускорении

разрушения бетона при замораживании вследствие образования дополнительного количества этtringита.

При замораживании бетона наблюдаются четыре основных вида процессов:

- быстрое замораживание и оттаивание на воздухе с разрушением бетона вследствие различий в коэффициентах температурного расширения;

- медленное одностороннее замораживание бетона ограждающей конструкции (при положительной температуре внутреннего помещения) с постепенным продвижением фронта вглубь бетона;

- быстрое всестороннее замораживание бетона тонкостенных конструкций с образованием льда в поверхностных слоях, что приводит к «закупорке» воды внутри конструкции и при достаточно высокой степени водонасыщения – к разрушению бетона, проявляющемуся в шелушении его поверхностных слоев;

- одностороннее замораживание пористого материала, в котором возможна миграция воды в парообразном состоянии к холодной поверхности и образование линз льда – аналогично процессу пучения грунта.

*Для металлических конструкций* также неблагоприятны низкие температуры. Одним из факторов, способствующих переходу конструкций в хрупкое состояние, является низкая температура. Поэтому важно строгое выполнение требований СНиП по назначению соответствующих марок сталей в зависимости от типов конструкций и температуры эксплуатации. Также важно выполнять конструктивные мероприятия, которые препятствовали бы хрупкому разрушению конструкций при низких температурах. К сожалению, были случаи, когда металлические конструкции, выполненные для южных районов, завозились на север и там разрушались еще до монтажа.

*Деревянные конструкции* при низких температурах и повышенной влажности испытывают большие напряжения, которые могут привести к возникновению трещин. Это можно наблюдать в чердачных помещениях: обрешетка и стропила намокают при некачественной кровле, а зимой промерзают. При этом доски растрескиваются, соединения в узлах и стыках ослабевают, и происходит деформирование элементов. Неблагоприятны низкие температуры и для клееных конструкций, выполненных с дефектами.

#### **5.4 Увлажнение конструкций**

Практика показывает, что повышенное влагосодержание отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях несущих и ограждающих конструкций. С увеличением влажности возрастает коэффициент теплопроводности материала, ухудшаются его

теплотехнические свойства. Кроме того, при изменении влажности изменяется объем материала, а при многократном увлажнении расшатывается его структура и снижается долговечность. Неблагоприятно сказывается переувлажнение и на состоянии воздушной среды помещений, ухудшая ее с гигиенической точки зрения.

Увлажнение конструкций способствует коррозии закладных деталей и связей, арматуры, снижая тем самым надежность и долговечность зданий. Увлажнение конструкций приводит и к другим последствиям. Так, например, содержание в грунтовых водах, увлажняющих конструкции, азотно-калиевых солей способствует образованию на их поверхности «стенной» селитры, впитывающей влагу из воздуха и тем самым дополнительно увлажняющей конструкции. Нежелательным результатом увлажнения является коррозия бетонных и железобетонных конструкций. Фильтрация мягких вод через конструкции вызывает выщелачивание извести – коррозию первого вида, а фильтрация засоленных вод – кристаллизационное разрушение бетона – коррозию третьего вида. Распространенным и существенным последствием увлажнения стен и покрытий является их промерзание: теплопроводность влажного материала, а тем более с прослойками воды, во много раз больше, чем сухого; еще больше теплопроводность материала, в котором вода превратилась в лед. Следствием длительного увлажнения конструкций являются их биоповреждения.

Высокая влажность конструкций определяется по внешним признакам: по их цвету, запаху, на ощупь или исследованием проб. Об избыточной влаге в конструкции свидетельствуют мокрые темно-серые или выцветшие пятна на стенах, растрескивание и вспучивание штукатурки, а также иные признаки (таблица 5.9).

**Таблица 5.9 – Признаки сырости в помещениях**

Места появления сырости	Внешние признаки	Причины
Штукатурка стен и фасадов	Набухание; высолы; сырые пятна; трещины	Повышенные влагопоглощение и влагопроницаемость конструкции; отсутствие гидрофобизирующих добавок в штукатурных растворах; повреждение карнизов и водосточков
Масляное покрытие стен и потолка	Выцветшие пятна; потеки; клейкая поверхность; запах плесени; отслоение масляного покрытия, шелушение	Увлажнение или действие солей; отсутствие отопления и вентиляции в помещении



Известковая побелка стен и потолка	Вспучивание и отслаивание	Увлажнение конструкции; отсутствие отопления и вентиляции в помещении
Стыки сборных железобетонных конструкций	Появление сырых пятен, трещин, высолов и потеков битума	Разрушение гидроизоляционного слоя
Полы помещений	Появление влаги на полу; отслаивание плитки, линолеума и т. д.	Подпор грунтовых вод; отсутствие или засорение дренажа; дефекты гидроизоляции пола
Внутренняя металлоизоляция	Мокрые темные пятна; местные отпотевания; налет ржавчины; волосяные трещины в металлоизоляции	Низкое качество сварных швов; прожоги металлоизоляции при установке закладных частей; перенапряжение металла; коррозия металла под действием кислот, солей, влаги
Проходы коммуникаций инженерных сетей через наружные стены сооружений	Отсыревание стен; обесцвечивание масляной покраски; запах плесени; потеки герметизирующей массы и влаги	Низкое качество сальниковой набивки; плохое качество сварки закладной детали с металлоизоляцией; повреждение сварных швов в результате просадки грунта в месте ввода коммуникаций или вблизи от этого места вентиляции в помещении

Повышенное влагосодержание характерно для многих конструкций, контактирующих с водой в процессе изготовления и эксплуатации, при этом различается пять видов увлажнения:

- при изготовлении конструкций (строительная влага);
- атмосферными осадками;
- утечками из водопроводно-канализационной сети;
- конденсатом водяных паров воздуха;
- капиллярным и электроосмотическим подсосом грунтовой воды.

*Строительная влага* – это влага, попадающая в конструкции в ходе строительства зданий и сооружений вследствие применения влагоемких и гигроскопичных материалов, обильного увлажнения конструкций при транспортировке, хранении, при мокрых процессах производства работ (кирпичная кладка, мокрая штукатурка) и т. п.: известно, что в 1 м<sup>3</sup> новой кирпичной кладки содержится до 200 л воды, а это составляет более 10 % веса кладки. Строительная сырость обычно удаляется из конструкций в процессе естественной сушки в течение первых двух лет.

Содержание строительной влаги в конструкциях обусловлено спецификой их изготовления и в начальный период обычно не

превышает следующих величин: для бетонных и железобетонных конструкций – 6–9 %, для каменных и армокаменных конструкций – 8–12, для деревянных конструкций, эксплуатируемых внутри помещений – 8–10, наружных конструкций – 15–18 %.

В дальнейшем при неблагоприятных условиях эксплуатации влажность материала конструкций может существенно увеличиваться.

*Атмосферная влага* в конструкциях может находиться в виде воды или льда. Увлажнение конструкций атмосферными осадками происходит вследствие смачивания их дождевой водой при неорганизованном водоотводе с крыши, малом выносе карниза, а также при повреждении кровель, водосточных труб и желобов, покрытий карнизов, парапетов, балконов или в результате гигроскопического увлажнения атмосферным воздухом.

При каменном или плотном бетонном наружном слое стены вода в нее проникает всего на несколько миллиметров и под влиянием солнечной радиации и ветра быстро испаряется. В пористых конструкциях, а также при некачественно выполненных швах в однослойных крупноразмерных конструкциях, дождевая влага проникает в стены глубоко, даже в отдельных случаях – насквозь.

Смачивание конструкций атмосферными осадками носит временный характер. Более устойчиво гигроскопическое увлажнение, но оно не создает высокой влажности конструкций (не более 2–3 %) и зависит от климата.

*Увлажнение утечками из водопроводно-канализационной сети* обычно встречается в зданиях с изношенным санитарно-техническим оборудованием. Утечки приводят к переувлажнению и быстрому разрушению кладки стен, особенно из силикатного кирпича. Следствием длительного увлажнения грунтов основания является их просадка с такими распространенными последствиями, как осадка и разрушение перегородок и полов первого этажа, и даже осадка несущих стен. Кроме того, фекальные воды являются агрессивными по отношению к материалу фундаментов. Стоки характеризуются стабильным содержанием определенных компонентов: азота аммонийного – 60–130 мг/л, хлоридов – 70–190 мг/л, а также значительных объемов фосфатов, сульфатов натрия и др. Нерастворимые вещества присутствуют в виде взвесей, причем коллоидная часть фекальных вод представлена белками, жирами, углеводами.

*Конденсационное увлажнение конструкций* происходит в результате перемещения водяных паров с воздухом. Механизм образования конденсата внутри ограждающей конструкции достаточно сложен и зависит от многих параметров: разности парциального давления паров воздуха у противоположных поверхностей конструкций, относительной влажности и температуры воздуха внутри и снаружи помещения, а также плотности материала. Конденсат может выпадать на внутренней поверхности стены или внутри конструкции; это зависит от

распределения температуры в стене, парциального давления водяных паров воздуха и способности материала конструкции впитывать влагу из воздуха. Точка росы может быть как в толще стены, так и на внутренней ее поверхности.

Проникновение воздуха и вместе с ним водяных паров сквозь толщу конструкции вызывается парциальным давлением (упругостью) паров воздуха; оно зависит от температуры воздуха и с ее повышением увеличивается. Так, например, при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и 100%-ной относительной влажности оно составляет 102,66 Па (0,77 мм рт. ст.), а при температуре  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  – равно 101,32 кПа (760 мм рт. ст.). Следовательно, движение воздуха с парами воды через конструкцию происходит с той стороны, где температура более высока.

Парциальное давление паров воздуха на  $1\text{ м}^2$  поверхности определяется из условия, что давление 133,32 Па (1 мм рт. ст.) соответствует давлению воздуха  $13,6\text{ кгс/см}^2$ . При большой разнице наружной и внутренней температур по обе стороны ограждения парциальное давление становится значительным. Так, например, при температурном перепаде от минус 20 до плюс  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  перепад парциального давления составляет  $(17,54 - 0,77) \times 13,66 = 2,23\text{ кПа}$  ( $228\text{ кгс/см}^2$ ).

Существенная величина парциального давления позволяет воздушному потоку достаточно свободно проникать сквозь толщу наружной стены. Замечено, что чем ниже теплоизоляция наружной стены и больше относительная влажность воздуха в помещении за этой стеной, тем выше опасность ее переувлажнения водяными парами из помещения. Если же наружная поверхность стены покрыта плотным паронепроницаемым материалом, то проникающий через стену водяной пар имеет возможность конденсироваться внутри стены, переувлажняя ее и увеличивая теплопроводность.

В средних климатических районах большую часть года температура воздуха в помещениях выше наружной, особенно в кухнях, ваннных комнатах, банях, прачечных и т. п. В этих условиях воздух через неплотности в конструкциях, а также структуру материала проникает наружу, и по мере его охлаждения влага конденсируется и задерживается в толще ограждения.

В южных районах температура и парциальное давление бывают выше снаружи, а потому здесь для ограждающих конструкций более опасна влажность наружного воздуха.

Скорость проникновения воздуха через конструкции зависит от пористости материала. Повышенное насыщение конструкций влагой приводит к слиянию воды в пустотах и порах в теплопроводящую пленку, в результате чего теплопроводность конструкций повышается. Объясняется это тем, что теплопроводность воды [ $\lambda = 0,5\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ] в 25 раз выше, чем воздуха ( $\lambda = 0,02$ ). Таким образом, чем больше

содержится воды в порах конструкции на пути теплового потока, тем больше теплопроводность ее материала. Высокое конденсационное увлажнение влечет за собой повышение теплопроводности стены, интенсивный перенос тепла и значительные потери его при испарении влаги. Это самое распространенное и нежелательное последствие увлажнения стен.

В однородной стене, если ее наружный слой нечрезмерно плотен и не препятствует гравитационному удалению влаги, а температура внутренней поверхности выше точки росы, конденсат не образуется.

Конденсат внутри стены может выпадать, если неправильно расположены разные по термическому сопротивлению слои конструкции – изнутри поставлен теплый слой, в результате чего образуется зона конденсации. Если теплый слой поставлен снаружи, зона конденсации не образуется. В однородной стене, даже в помещениях с высокой влажностью, но при плотном защитном слое изнутри зона конденсации не образуется. Увлажнение ограждающих конструкций конденсатом водяных паров воздуха происходит при температуре точки росы, когда влажность воздуха у поверхности конструкции или в порах ее материала оказывается выше максимальной упругости пара при данной температуре и избыток влаги переходит в жидкую фазу.

Конденсационное увлажнение предотвращается путем рационального конструирования стен, основанного на выполнении требований норм и расчете температурно-влажностного режима. Так, например, в зданиях, эксплуатируемых в условиях умеренно-влажного и сухого климата, сопротивление наружных стен уменьшается от внутренней поверхности к наружной, при этом пароизоляция располагается на внутренней поверхности стены. Особенно это важно при защите от переувлажнения наружных стен влажных и мокрых помещений (бань, саун, прачечных и др.).

При выборе наружной отделки стен следует помнить, что опасны как ее паронепроницаемость так и чрезмерная пористость. Если в первом случае возможно переувлажнение стены конденсатом, то во втором – атмосферной влагой.

*Увлажнение капиллярным и электроосмотическим подсосом грунтовой влаги* характерно для стен, у которых отсутствует горизонтальная гидроизоляция или когда она расположена ниже отмостки.

Наиболее устойчивым и трудноустраняемым видом сырости является увлажнение стен влагой из грунта – грунтовая сырость. При повреждении гидроизоляции или при подсыпке грунта вокруг здания выше расположения гидроизоляции происходит увлажнение конструкций, с которым нелегко бороться; оно осуществляется двумя путями:

– капиллярным поднятием влаги в конструкции;

– электроосмотическим поднятием влаги.

Механизм капиллярного увлажнения основан на действии сил притяжения между молекулами твердого тела и жидкости (явление смачивания). При отсутствии в материале стены гидрофобных (водоотталкивающих) веществ вода смачивает стенки капилляров и поднимается по ним. Высоту поднятия воды в капилляре  $h$  можно определить по известной формуле Д. Жюрена:

$$h = \frac{2a}{r(\rho_1 - \rho_2)g},$$

где  $a$  – поверхностное натяжение воды, Н/см.

$r$  – радиус капилляра, см;

$\rho_1$  и  $\rho_2$  – соответственно, плотность воды и воздуха, Н/см<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, см/с<sup>2</sup>;

В капиллярно-пористых материалах, таких как плотный бетон, цементно-песчаный раствор или кирпич, радиус капилляров находится в пределах  $1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-2}$  см. Поверхностное натяжение воды при температуре +20 °С составляет  $72,5 \cdot 10^{-5}$  Н/см. Если пренебречь плотностью воздуха, то максимальная высота подъема воды в капилляре за счет сил смачивания составит примерно 1,5 м.

При обследовании зданий подъем грунтовой влаги в стенах наблюдался на высоту до 5 м, что существенно превышает высоту капиллярного подсоса. По-видимому, решающую роль в этом играет действие электроосмотических сил. Под электроосмосом понимается направленное движение жидкости, от анода к катоду, через капилляры или пористые диафрагмы при наложении электрического поля.

Наблюдения показали, что внутри стен под влиянием различных физических явлений и химических процессов возникают слабые электрические токи: в результате теплового эффекта, вызванного нагревом конструкций солнечными лучами; от трения воздушных потоков о стены; из-за действия естественных гальванических пар, вследствие термопарного эффекта на стыке слоев конструкции.

Если в сосуд с водой опустить какой-либо стеновой материал (кирпич, керамический блок и т. п.) и подключить источник постоянного электрического тока, то через пористую конструкцию вода начнет перемещаться от анода к катоду. Если ток выключить, движение воды прекратится; это и есть явление электроосмоса – перемещение влаги в конструкции под действием тока.

Поверхность кладки (диафрагмы) в местах контакта с водой имеет отрицательный потенциал. Прилегающий к ней слой воды заряжается положительно, т. е. образуется двойной электрический слой. При этом заряд слоя жидкости, прилегающего непосредственно к диафрагме,

связан с ней постоянно, а заряд диффузного слоя, несколько удаленный от него, но имеющий одинаковый с ним знак, может перемещаться вместе с жидкостью по направлению к отрицательному электроду. При движении жидкости диффузный слой ее постоянно меняется. Поскольку активная поверхность пористой диафрагмы из кирпича, керамики в контакте с водой имеет отрицательный потенциал, диффузный слой воды, несущий положительный заряд, переносится к катоду. Потенциал диффузного слоя назван электрокинетическим. Чем выше этот потенциал, тем интенсивнее перенос жидкости. Интенсивность электрокинетического воздействия определена опытным путем.

Следует отметить, что слабые электрические поля всегда присутствуют в стенах, испытывающих перепады температуры по длине или на противоположных поверхностях (термоэлектрический эффект Зеебека). При этом положительные заряды (аноды) группируются главным образом у основания стены в зоне контакта с грунтом, а отрицательные (катоды) – вверх.

Рассматривая стены из капиллярно-пористого материала как своеобразную диафрагму, следует полагать, что грунтовая вода за счет электроосмотических сил поднимается вверх по стене в сторону катода. Так как потенциал электрического поля стены изменяется под воздействием внешних факторов (перепада температуры, интенсивной солнечной инсоляции, влажности воздуха), то и величина электроосмотического увлажнения – переменная.

Таким образом, на влагу в нижней части стены, кроме подъемных капиллярных сил, постоянно действуют электроосмотические силы, заставляющие ее перемещаться вверх и увлажнять стену.

Различные виды увлажнений по-разному сказываются на возникновении и развитии повреждений. Наибольшие повреждения вызывает увлажнение конструкций дождевой влагой.

Распределение повреждений в зависимости от вида увлажнения по данным М. Д. Бойко представлено в таблице 5.10, а дождевой влагой различных типов конструкций – в таблице 5.11.

Влияние воздействий влаги на конструкции неоднозначно, кроме того, при воздействии однотипных увлажнений интенсивность повреждений в многоэтажных зданиях зависит от высоты расположения конструкций. Распределение повреждений, вызванных увлажнением через различные конструкции зданий по данным М. Д. Бойко приведено в таблице 5.12.

Таблица 5.10 – Распределение повреждений в зависимости от вида увлажнения

Вид увлажнения	Количество повреждений, %
Конденсат	32
Увеличение влажности	8
Случайное попадание воды	10
Атмосферные осадки (дождевая влага)	5

Таблица 5.11 – Распределение повреждений дождевой влагой различных типов конструкций

Вид увлажнения	Количество повреждений, %
Стены	38
Кровля	36
Окна	18
Другие конструкции	8

Таблица 5.12 – Распределение повреждений, вызванных увлажнением через различные конструкции

Путь попадания влаги	Количество повреждений, %
<i>Через стены</i>	
Поле панелей	7
Углы стен	25
Вертикальные стыки	36
Горизонтальные стыки	32
<i>Через окна</i>	
При отсутствии отлива	25
При отсутствии прорези в нижнем бруске	43
Через стыки с панелями	15
При плохой изоляции стекол	17
<i>Через кровлю</i>	
В местах заделки стоек	18
Через панели	10
У водосточных воронок	25
В местах примыкания к надстройкам	47

## 5.5 Воздействие грунтовой воды

Грунтовая вода существует в природе в **трех видах**:

- свободной или жидкой;
- связанной

(химически, гигроскопически и осмотически впитанной или пленочной);

- парообразной, перемещающейся по порам из мест с большей упругостью водяного пара в места с меньшей его упругостью.

Грунтовая вода взаимодействует физически и химически с минеральными и органическими ча-стицами грунта. Все виды грунтовой воды находятся во взаимодействии друг с другом и переходят один в другой.

Атмосферные осадки, проникая в грунт, превращаются либо в парообразную, либо в гигроскопическую влагу, удерживающуюся в виде молекул на частицах грунта молекулярными силами, в пленочную, поверх молекулярной, и гравитационную, свободно перемещающуюся в

грунте под действием сил тяжести. Последняя может доходить до грунтовой воды, повышая тем самым ее уровень.

Вода в грунтах всегда представляет собой раствор с изменяющимися концентрацией и химическим составом, что отражается и на степени ее агрессивности. Оценивая агрессивность грунтовых вод, следует иметь в виду переменный ее характер: с течением времени у подземной части сооружений водный режим может изменяться, и при этом агрессивность среды повышается или снижается.

Грунтовая вода, в свою очередь, вследствие капиллярного поднятия перемещается вверх на значительную высоту и также обводняет верхние слои грунта. В некоторых условиях капиллярная и грунтовая воды могут сливаться и устойчиво обводнять подземные части сооружений, в результате чего усиливается коррозия конструкций, снижается прочность оснований.

Изменение минералогического состава грунтовых вод меняет их агрессивность по отношению к подземным частям сооружений. В районах с большим количеством осадков (северных) уровень грунтовых вод поднимается и снижается их карбонатная жесткость (количество кальция) за счет разбавления грунтовой воды (в виде раствора) осадками; это повышает ее способность к выщелачиванию извести в каменных и бетонных конструкциях.

В засушливых (южных) районах в связи с обильным испарением влаги при отсутствии осадков увеличивается минерализация воды в верхних слоях грунта, т. е. в зоне подземных частей сооружений. Повышение содержания в воде солей, способных кристаллизоваться при взаимодействии с цементом или при испарении влаги, вызывает иной вид разрушения – кристаллизационный.

Испарение воды и увлажнение грунтов осадками приводят к движению в них кислорода, вследствие чего коррозионная активность среды также возрастает. При необратимых процессах коррозии, например металлов, для сооружений опасно даже временное повышение агрессивности окружающей среды.

Уровень грунтовых вод колеблется в зависимости от времени года, водопроницаемости грунтов и других факторов. Наиболее высокий уровень грунтовых вод наблюдается весной, после таяния снега, а самый низкий – в конце лета и в конце зимы.

Причинами прогрессирующего разрушения многих зданий и инженерных сетей, которое находит свое выражение в развитии неравномерных осадок фундаментов, их разрушении, трещинообразовании в стенах, разрушении гидроизоляции, затоплении подвалов, коррозии труб и элементов водопроводных систем, является постепенное ухудшение состояния и свойств грунтов оснований, в т. ч.



повышение агрессивности подземных вод и грунтов в условиях локального подтопления и загрязнения территорий. При этом негативные изменения химизма грунтовых вод и окислительно-восстановительной обстановки подземных лито- и гидросферы часто протекают одновременно с активизацией микробиологической деятельности в обводненной толще грунтов. Химические, физико-химические и биохимические процессы приводят к значительному преобразованию подземных вод, состава, состояния и свойств грунтов, материалов кладки фундаментов и подвальных помещений, а также коррозии труб. Органические соединения отходов животных и человека относятся к числу легкоокисляемых в химических реакциях и утилизируемых микроорганизмами, вследствие чего происходит быстрая трансформация окислительной обстановки в грунтовых водах и переход ее в восстановительную.

Химический состав подземных инфильтрационных вод обычно меняется в зависимости от времени года.

Агрессивность грунтовых вод по отношению к различным материалам зависит от их реакции (кислая, щелочная), концентрации, а также от вида материала. Воздействие грунтовых вод на строительные материалы весьма многообразно. Так, например, слабокислые растворы предохраняют от гниения деревянные части, подавляя грибковые (гнилостные) процессы, но окисляют и разрушают некоторые металлы. Щелочные растворы в малых концентрациях способствуют сохранению бетона, но они более агрессивны, чем кислые, по отношению к битуму, асфальтобетону, дереву.

Признаков агрессивности воды очень много. За основные, чаще всего встречающиеся, признаки агрессивности воды по отношению к бетонным и каменным конструкциям приняты следующие:

- водородный показатель pH;
- бикарбонатная щелочность, ммоль/л<sup>2</sup>;
- содержание, мг/л:
  - агрессивной углекислоты;
  - магниальных солей, в пересчете на ион  $Mg^{2+}$ ;
  - аммонийных солей, в пересчете на ион  $NH_4^+$ ;
  - едких щелочей, в пересчете на ионы  $Na^+$  и  $K^+$ ;
  - сульфатов, в пересчете на  $SO_4^{2-}$ ;
  - хлоридов, в пересчете на  $Cl^-$ .

В зависимости от наличия в воде примесей и их концентрации различают следующие виды агрессивности грунтовых вод:

общекислотную, выщелачивающую, сульфатную, магниальную и углекислотную.

## 5.6 Коррозия материалов конструкций

**Коррозия** – самопроизвольное разрушение твердых тел, вызванное химическими, электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой.

Действие коррозии на строительные конструкции зависит от материала самой конструкции и от агрессивности окружающей среды. По агрегатному состоянию агрессивная среда может быть газообразной, жидкой, твердой или многофазной. Примером многофазной агрессивной среды могут быть фундаменты зданий, которые контактируют с минерализованными грунтовыми водами, часто загрязненными промышленными стоками, заполняющими поры твердого вещества скелета грунта, растворяют газы, находящиеся в этих порах.

По степени воздействия на строительные конструкции среды делятся на неагрессивные, слабоагрессивные, умеренно агрессивные и сильноагрессивные, а также на соответствующие им классы по условиям эксплуатации (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Классы среды по условиям эксплуатации

Класс среды по условиям эксплуатации	Характеристика среды
XA0	Неагрессивная
XA1	Слабоагрессивная
XA2	Умеренно агрессивная
XA3	Сильноагрессивная

По характеру действия среды делятся на химически и биологически активные.

Класс среды по условиям эксплуатации определяется:

– для газообразных сред – видом и концентрацией газов (группы газов) и температурно-влажностным режимом помещений или районом влажности территории;

– твердых сред – видом, растворимостью в воде и гигроскопичностью отдельных компонентов, содержащихся в пыли, в сочетании с температурно-влажностным режимом помещений, химическим составом и количеством растворимых солей в грунте и районом влажности территории;

– жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных компонентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкций;

– биологически активных сред – наличием бактерий, водорослей, грибов и их спор.

Характеристика сред и их воздействие на конструкции зданий и сооружений представлены на рисунке 5.1.

Степень воздействия агрессивных сред на конструкции определяется:

– для газовых сред – видом и концентрацией газов в воде, влажностью и температурой;

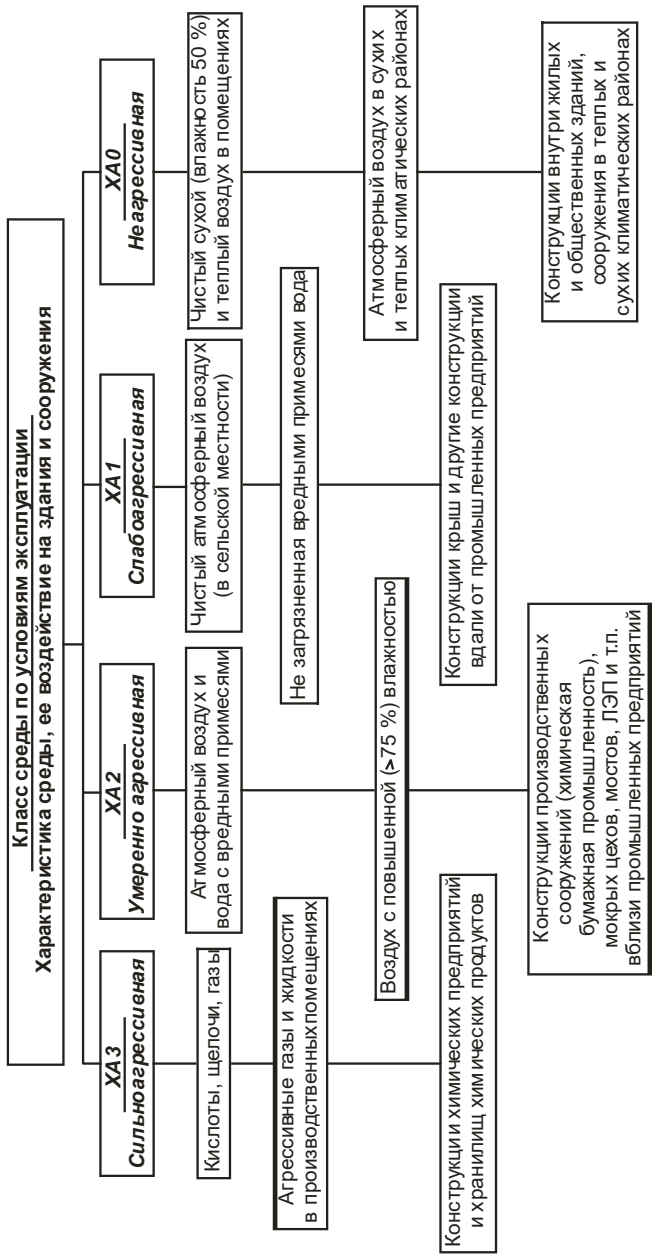


Рисунок 5.1 — Классы среды по условиям эксплуатации

– для жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкции;

– для твердых тел (соли, аэрозоли, пыль, грунты) – дисперсностью, растворимостью в воде, гигроскопичностью, влажностью окружающей среды.

Характеристики газов и твердых сред представлены, соответственно, в таблицах 5.14 и 5.15.

**Таблица 5.14 – Группы агрессивных газов в зависимости от их вида и концентрации**

Наименование	Концентрация для групп газов, мг/м <sup>3</sup>			
	А	В	С	Д
Углекислый газ	До 2000 включ.	Св. 2000	–	–
Аммиак	До 0,2 включ.	Св. 0,2 до 20 включ.	Св. 20	–
Сернистый ангидрид	До 0,5 включ.	Св. 0,5 до 10 включ.	Св. 10 до 200 включ.	Св. 200 до 1000 включ.
Фтористый водород	До 0,05 включ.	Св. 0,05 до 5 включ.	Св. 0,5 до 10 включ.	Св. 10 до 100 включ.
Сероводород	До 0,01 включ.	Св. 0,01 до 5 включ.	Св. 5 до 100 включ.	Св. 100
Оксиды азота*	До 0,1 включ.	Св. 0,1 до 5 включ.	Св. 5 до 25 включ.	Св. 25 до 100 включ.
Хлор	До 0,1 включ.	Св. 0,1 до 1 включ.	Св. 1 до 5 включ.	Св. 5 до 10 включ.
Хлористый водород	До 0,05 включ.	Св. 0,05 до 5 включ.	Св. 5 до 10 включ.	Св. 10 до 100 включ.
Сероводород (тионовые бактерии)	До 0,1 включ.	Св. 0,1 до 3 включ.	Св. 3 до 30 включ.	Св. 30

\* Оксиды азота, растворяющиеся в воде с образованием растворов кислот.

**Таблица 5.15 – Характеристика твердых сред (солей, аэрозолей и пыли)**

Растворимость твердых сред в воде и их гигроскопичность	Наиболее распространенные соли, аэрозоли, пыли
Малорастворимые	Силикаты, фосфаты (вторичные и третичные) и карбонаты магния, кальция, бария, свинца; сульфаты бария, свинца; оксиды и гидроксиды железа, хрома, алюминия, кремния
Хорошо растворимые малогигроскопичные	Хлориды, сульфаты натрия, калия, аммония; нитраты калия, бария, свинца, магния; карбонаты щелочных металлов
Хорошо растворимые гигроскопичные	Хлориды кальция, магния, алюминия, цинка, железа; сульфаты магния, марганца, цинка, железа; нитраты и нитриты натрия, калия, аммония; все первичные фосфаты; вторичный фосфат натрия; оксиды и гидроксиды натрия, калия

*Примечание* – К малорастворимым относятся соли с растворимостью менее 2 г/л, к хорошо растворимым – св. 2 г/л. К малогигроскопичным относятся соли, имеющие равновесную относительную влажность при температуре 20 °С – 60 % и более, а к гигроскопичным – менее

60 %.

Коррозионные процессы более интенсивно протекают в жидкой агрессивной среде. По отношению к сухим материалам конструкций газообразная среда, содержащая пылевидные твердые частицы, неагрессивна.

Однако поверхность элементов зданий всегда содержит адсорбированную из атмосферного воздуха влагу, в результате чего на ней образуется тончайший слой насыщенного раствора минеральных веществ, агрессивного по отношению к материалу строительных конструкций и инженерных систем.

Существует ряд причин коррозионного разрушения металлических и неметаллических (бетонных, каменных, деревянных, пластмассовых и др.) конструкций. Они возникают от химических, физических, электрохимических и биологических воздействий. Процессы коррозии неметаллических материалов отличаются от процессов коррозии металлов. Если для металлов коррозия происходит на границе металла и среды, то коррозия пористых неметаллов проявляется и на границе со средой, и в глубине материала (органического или неорганического происхождения) из-за агрессивности среды: концентрации вредных веществ, температуры и воздействия химических реагентов.

Например, пластмассы и резины при воздействии на них агрессивных сред теряют свою эластичность, твердеют и становятся рыхлыми, и их прочностные свойства резко снижаются.

Бетон и каменные материалы разрушаются от воздействия агрессивной среды при образовании в его порах новых соединений большого объема.

Степень агрессивного воздействия среды на строительные конструкции (таблица 5.16) характеризуется среднегодовой потерей прочности в зоне коррозии, а также скоростью разрушения материала.

**Таблица 5.16 – Степень агрессивного воздействия на строительные конструкции**

Среда	Средняя скорость разрушения поверхностного слоя, мм/год		Снижение прочности в зоне коррозии за год, %		Внешние признаки коррозии неметаллического материала
	металла	неметалла	металла	неметалла	
Неагрессивная	0	0,2	0	0	-
Слабоагрессивная	<0,1	0,2–0,4	<5	<5	Слабое поверхностное разрушение
Умеренно агрессивная	0,1–0,5	0,4–1,2	3–15	5–29	Повреждение углов или волосные трещины
Очень агрессивная	>0,5	>1,2	>15	>20	Ярко выраженное разрушение (сильное растрескивание)

Особенно вредные воздействия на конструкции оказывают:

– углекислый газ, сернистый ангидрит, фтористый водород, а также щелочи и кислоты;

– масла, нефть, нефтепродукты, растворители, различные виды сельскохозяйственных удобрений (фосфорные, аммонийные, азотные, калийные) и др.

### 5.6.1 Каменные конструкции

По механизму протекания различают физическую, химическую и биологическую коррозии материала каменных конструкций. Вид коррозионных процессов зависит от местоположения конструктивного элемента и характера среды. Так, подземные конструкции могут подвергаться всем видам коррозии, надземные – преимущественно физической, реже – химической.

Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразных и твердых сред на конструкции из кирпича представлены, соответственно – в таблицах 5.17 и 5.18

**Таблица 5.17 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из кирпича газообразных сред**

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43	Группа газов по таблице 5.14	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразных сред на конструкции из кирпича	
		глиняного пластического прессования	силикатного
Сухой	B	XA0	XA0
Нормально-сухой	C	XA0	XA0
	D	XA0	XA0
Нормальный	B	XA0	XA0
Нормально-влажный	C	XA0	XA0
	D	XA0	XA1
Влажный, мокрый	B	XA0	XA0
Влажный	C	XA0	XA1
	D	XA0	XA2

Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии жидких сред на конструкции из кирпича для растворов, содержащих хлориды, сульфаты, нитраты и другие соли и едкие щелочи в количестве свыше 10 до 15 г/л – XA1, свыше 15 до 20 г/л – XA2, свыше 20 г/л – XA3.

Наибольшее влияние на износ конструкций оказывает водная среда. Поскольку большинство конструкций зданий (фундаменты, стены, перегородки, перекрытия и элементы крыш) выполнены из искусственных

каменных материалов с пористо-капиллярной структурой, при контакте с водой они интенсивно увлажняются.

**Таблица 5.18 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из кирпича твердых сред**

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43	Растворимость твердых сред в воде* и их гигроскопичность	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии твердых сред на конструкции из кирпича	
		глиняного пластического прессования	силикатного
Сухой	Хорошо растворимые малогигроскопичные Хорошо растворимые гигроскопичные	XA0	XA0
Нормально-сухой		XA0	XA0
Нормальный	Хорошо растворимые малогигроскопичные Хорошо растворимые гигроскопичные	XA0	XA1
Нормально-влажный		XA1	XA2
Влажный, мокрый	Хорошо растворимые малогигроскопичные Хорошо растворимые гигроскопичные	XA1	XA2
Влажный		XA2	XA2
* Перечень наиболее распространенных растворимых солей, аэрозолей, пыли и их характеристики приведены в таблице 5.15.			

В зависимости от вида связи с материалом различают химически связанную, адсорбционно связанную, капиллярную и свободную влагу. Свободная влага заполняет крупные пустоты и поры материала и удерживается в них гидростатическими силами. Эта влага легко удаляется из материала конструкции при высушивании.

Разрушение каменных материалов под воздействием влаги и отрицательных температур рассмотрены в подразделе 5.3. На долговечность каменных конструкций влияют также попеременное увлажнение и высыхание материала даже при отсутствии отрицательных температур. При высыхании конструкции влага сначала испаряется из крупных пор, а затем из более мелких пор–капилляров. В абсолютно сухом воздухе свободная, капиллярная и адсорбционно-связанная вода в течение некоторого времени может полностью испариться из тела конструкции. При этом на конструкцию перестают действовать расклинивающие силы и, как следствие, в материале возникают значительные по величине напряжения усадки.

При увеличении относительной влажности окружающей воздушной среды материал вновь увлажняется, трещины раскрываются. Скорость разрушения каменных конструкций под действием напряжений, возникающих от усадки и набухания зависит от интенсивности увлажнения и высыхания.



Одной из причин разрушения увлажненного каменного материала является осмотическое давление в порах конструкций. В порах и капиллярах вода присутствует в виде растворов неодинаковой концентрации. В материалах каменных конструкций всегда имеются расположенные рядом поры с растворами разной концентрации, разделенные проницаемыми для воды стенками и непроницаемыми для растворенного в ней вещества. Стремясь выровнять концентрацию, влага проходит через материал, разделяющий поры, из раствора меньшей концентрации в раствор большей концентрации. Если раствор, имеющий большую концентрацию, находится в замкнутом объеме, то в нем может возникнуть осмотическое давление, достигающее  $1,5 \cdot 10^7$  Па ( $150 \text{ кг/см}^2$ ).

Интенсивность коррозии каменных конструкций зависит от структуры материала, степени и вида его увлажнения, а также от химического состава водной среды. Так, дождевая вода смывает со стен адсорбированные частицы и различные агрессивные вещества; влага-конденсат вступает с такими веществами во взаимодействие, образуя растворы кислот и щелочей, которые вызывают разрушение материала каменных конструкций. Повышенный конденсат возникает весной или осенью, когда температура наружного воздуха имеет знакопеременные значения. В этот период температура каменных наружных конструкций изменяется с некоторым отставанием от суточной температуры наружного воздуха (так называемый температурный гистерезис). Контакт воздушной среды с участками конструкций, имеющих более низкую температуру по сравнению с температурой наружного воздуха, приводит к выпадению конденсата на этих участках, особенно в углах зданий.

Скорость и характер разрушений каменных конструкций, как уже отмечалось, зависят от структуры пор материала. Долговечность кирпичных стен в значительной степени определяется технологией изготовления кирпича. Например, кирпич сухого прессования имеет сеть капилляров и пор, сообщающихся между собой и открытых на поверхности. Такой материал быстро насыщается влагой, ускоряющей его физическую коррозию. Кирпич пластического прессования имеет закрытые поры, поэтому медленнее насыщается влагой. Насыщение влагой каменных материалов в естественных условиях происходит значительно быстрее, чем высыхание.

При эксплуатации зданий следует обращать внимание на состояние тех конструктивных элементов, которые выполнены из материалов, имеющих разную плотность. Так, в конструкциях из песчаника и известняка в месте их контакта наблюдается ускоренное разрушение песчаника. Объясняется это тем, что известняк, как материал с более крупными порами, быстрее впитывает и отдает влагу плотному песчанику, имеющему мелкие поры. При этом количества влаги на границе контакта этих двух материалов достаточно для того, чтобы все

поры песчаника были полностью заполнены водой. Влага, поступающая из пор известняка, содержит растворенные соли, которые при испарении влаги кристаллизуются и создают большие поровые напряжения. Значительно большие напряжения возникают в мелкопористых материалах, контактирующих с крупнопористыми при замерзании в них влаги.

Аналогичные явления происходят в швах каменной кладки, если использован раствор более плотного состава, чем материал кладки. В этом случае раствор в швах кладки быстро разрушается и выветривается. Одновременно разрушается и кирпич по кромкам в месте примыкания к раствору, так как на нем скапливается влага, не успевающая мигрировать в раствор.

Причиной разрушения каменных конструкций является также устройство на наружных стенах фасадов плотных штукатурок. Кирпичные стены, например, при нормальном режиме эксплуатации содержат 0,055–0,53 % влаги (по массе). Миграция происходит тем интенсивнее, чем больше перепад температур, при этом влага перемещается в сторону низких температур. Наличие плотной штукатурки приводит к скоплению влаги между штукатурным слоем и наружной гранью кирпичной кладки. При отрицательных температурах влага замерзает, возникают напряжения, разрушающие штукатурку и поверхностный слой каменной кладки. Кроме того, плотная цементная штукатурка создает значительные напряжения из-за разности линейных температурных расширений: линейные расширения кирпичной кладки примерно в два раза меньше линейных расширений цементного раствора; для кладки из шлакобетонных камней эта разница еще больше. При этом надо иметь в виду, что температура штукатурного слоя фасада всегда выше температуры слоя кладки, находящейся под штукатуркой.

Одним из видов физической коррозии каменных конструкций является также растворение влагой и унос некоторых веществ из тела конструкций. К этому виду относится коррозия выщелачивания. Фильтрующиеся через конструкцию воды могут растворять и уносить находящийся в кладочном растворе гидроксид кальция, снижая его прочность. На начало разрушения каменных конструкций указывают появляющиеся на поверхности конструктивного элемента белые высолы, которые свидетельствуют о том, что в материале происходит растворение солей материала и вынос их наружу в сторону более низких температур.

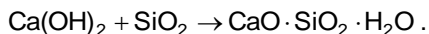
Следует отметить, что если наружные стены покрыты плотной штукатуркой из цементного раствора, то их воздухопроницаемость снижается в 20 раз. Коэффициент линейной усадки (набухания) материала штукатурки в 35 раз больше, чем кирпича. Кроме того, в этом случае создаются условия для интенсивного накопления влаги на

границе кирпичная кладка – цементная штукатурка. Эти явления сопровождаются разрушением каменных и кирпичных кладок, при этом термическое сопротивление стен снижается.

Лучшими эксплуатационными параметрами обладают сложные (известково-песчаные) растворы, штукатурки из которых имеют коэффициент воздухопроницаемости, почти совпадающий с коэффициентом воздухопроницаемости каменных кладок, а в некоторых случаях даже больше. Это создает благоприятные условия для беспрепятственного удаления мигрирующей влаги из материала кладки. Известковый раствор устойчив при знакопеременных температурах, так как коэффициенты его линейного температурного расширения и кирпичной кладки почти совпадают.

**5.6.1.1 Конструкции из силикатных материалов.** Силикатные материалы представляют собой соли кремневых и поликремневых кислот, алюмосиликаты, кальциевые силикаты или чистый кремнезем с примесями других соединений.

Силикатный кирпич и изделия из силиката представляют собой гидросиликат кальция, который является продуктом автоклавной обработки материала, получаемого в результате взаимодействия извести и кремнезема:



При дальнейшем твердении на воздухе изделия из гидросиликата кальция под воздействием диоксида углерода карбонизируются. Скорость коррозии конструкций из силикатных материалов, как и других каменных конструкций, зависит от ряда факторов: химического и минералогического составов, характера их пористости (открытые или закрытые), типа структуры материала (аморфная или кристаллическая), характера агрессивной среды и концентрации химически активных веществ и др.

Присутствие в силикатных изделиях извести и углекислого кальция делает конструкции, изготовленные из силикатного кирпича и блоков, нестойкими даже против слабых водных растворов минеральных и органических кислот. Силикатные конструкции стойки по отношению к щелочным агрессивным средам. Вследствие наличия в воздухе и грунтовой воде веществ (оксидов, газов), образующих растворы кислот, во влажной среде силикатные изделия быстро разрушаются.

Разрушение пористых силикатных конструкций при наличии сообщающихся пор происходит не только на поверхности, но и в толще материала. В замкнутых, не сообщавшихся друг с другом порах (например, в красном кирпиче пластического прессования) разрушительное влияние агрессивных сред проявляется в более ограниченном объеме, чем в открытых порах.

При кристаллической структуре материала силикатных конструкций коррозия протекает медленнее, чем при аморфной. Интенсивное разрушение силикатных материалов происходит во всех случаях, когда для изготовления конструкций применяется аморфный кремнезем. Механизм разрушения силикатных конструкций при действии на аморфный кремнезем щелочей аналогичен рассмотренному ранее.

Коррозионная стойкость конструкций из силикатного кирпича определяется в основном свойствами входящих в состав материала конструкций веществ, главным образом извести, обладающей невысокой стойкостью к кислым агрессивным средам. Только в разбавленных растворах щелочей силикатный кирпич достаточно устойчив.

Механизм коррозии силикатного кирпича в солевых растворах объясняется осаждением в порах материала кристаллов, которые, увеличиваясь в объеме, создают растягивающие усилия, приводящие к его разрушению.

#### **5.6.1.2 Конструкции из минеральных строительных материалов.**

Минеральные материалы имеют молекулярную структуру преимущественно с ионными связями. Это обуславливает их относительно легкую реакцию с водой, вследствие чего образуются ионные растворы. Химические свойства материалов характеризуются их способностью к химическим превращениям под влиянием вещества, с которым данный материал находится в контакте. Стойкость неорганических материалов в кислых и щелочных средах характеризуется модулем основности  $M_0$ , который определяется из выражения

$$M_0 = [\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})]/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3),$$

где  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – содержание оксидов металлов в составе данного материала, %.

Если преобладает диоксид кремния (кремнезем), то материал стоек по отношению к кислотам, но взаимодействует с основными оксидами; если преобладают основные оксиды, то конструкция из данного вида материала нестойка к действию кислых агрессивных сред, но в щелочных средах не разрушается.

Важной особенностью большинства минеральных материалов является их незначительная пористость, которая увеличивает капиллярный подсос и фильтрацию влаги, приводит к увлажнению материала конструкции вследствие конденсации водяных паров, а также интенсивному взаимодействию с жидкой агрессивной средой.

Керамические изделия и глиняный кирпич устойчивы к кислотам, вместе с тем обыкновенный глиняный кирпич разрушается под действием щелочей, водных растворов органических и минеральных

кислот, а также многих солей. Конструкции из глиняного кирпича устойчивы в слабых кислотах и кислых газах. Из всех сортов глиняного кирпича наиболее устойчив к агрессивным средам плотный клинкерный кирпич.

Кирпичные стены часто разрушаются под действием кристаллогидратов, образующихся в материале стен из раствора солей, особенно сульфатов натрия и магния. Разрушение кирпичных стен может происходить при периодическом увлажнении и высыхании, поэтому конструкции из кирпича наиболее интенсивно подвергаются химической и физической коррозии в систематически увлажняемых местах (фундаменты, стены подвалов, стены и кирпичные перегородки влажных помещений, карнизы, сандрики и другие элементы зданий, незащищенные от попадания влаги из атмосферных осадков).

Керамическая плитка, содержащая алюмосиликаты, стойка против действия органических и минеральных кислот (кроме плавиковой). Хорошей щелочестойкостью отличаются плитки с плотным, хорошо обожженным черепком. Для придания керамическим изделиям устойчивости по отношению к агрессивным средам их изготавливают с добавкой соответствующих материалов. Например, кислотоупорные изделия готовят из тугоплавких и огнеупорных основных и полукислых глин высокой и средней пластичности.

Конструкции из *шлакобетонных камней и материалов* неустойчивы к действию кислых агрессивных сред и мало устойчивы к действию влажной среды и растворов щелочей (за исключением слабоконцентрированных). Слабоустойчивы эти конструкции к попеременному увлажнению и замораживанию.

Минеральные материалы можно условно подразделить на три группы в зависимости от поведения в агрессивных средах.

К *первой* группе относятся бетон и железобетон на портландцементе и его производных, растворы для кладки и штукатурки, асбестоцементные изделия, силикатный кирпич и блоки, а также природный известняк и доломит. Эти материалы содержат гидраты или карбонаты кальция и магния, имеют модуль основности больше единицы, а поэтому обладают высокой щелочестойкостью и низкой кислотостойкостью.

Ко *второй* группе относятся бетоны на жидком стекле с кремнефтористым натрием, а также кислые природные каменные материалы, состоящие преимущественно из кремнезема, различных солей кремниевых и поликремневых кислот, алюмосиликатов и др. Модуль основности этих материалов меньше единицы, и они имеют высокую кислотостойкость и низкую щелочестойкость. Плотные и прочные кислые изверженные породы (кварц, гранит, диабаз, базальт и др.) отличаются

высокой стойкостью не только к кислотам, но и к щелочным агрессивным средам при нормальной температуре.

К *третьей* группе относятся изделия из обожженной глины (кирпич, керамические плитки, трубы и т. п.), которые имеют очень высокую кислотостойкость.

**5.6.1.3 Природные каменные материалы.** Устойчивость природных и искусственных каменных материалов главным образом определяется модулем основности. Вместе с тем коррозионная стойкость природных каменных материалов зависит от свойств горных пород, из которых они получены. Изверженные породы отличаются высокой кислотостойкостью и щелочестойкостью. Важнейшие из них используют в строительных конструкциях: гранит, сиенит, диорит, габбро, порфиры, диабаз, базальт, андезит. Эти материалы применяют в основном в виде блоков для отделки ответственных сооружений и уникальных зданий, а также в качестве щебня для бетона, при устройстве фундаментов, стен, перекрытий и др.

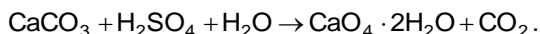
Осадочные породы отличаются высокой коррозионной стойкостью. Среди осадочных пород можно назвать: песчаники, состоящие из зерен кварцевого песка, сцементированного карбонатом кальция, кремнеземом, гипсом, оксидами железа, глинистыми материалами; известняки, состоящие из кальцита. Песчаники и плотные известняки используют в виде плит и фасонных деталей для облицовки стен, изготовления лестничных проступей, подоконников. Пористые известняки и известняк-ракушечник с плотностью  $1500\text{--}2000\text{ кг/м}^3$  и прочностью на сжатие  $2,5 \cdot 10^6\text{--}13,5 \cdot 10^6\text{ Па}$  применяют для наружных облицовок, а также для получения щебня.

К осадочным породам относятся также мраморовидные известняки, доломиты, гипс и травертин. Травертин применяют в основном для облицовки внутренних стен и потолков. Конструкции из известняков менее кислотостойки, если в качестве материала в них применен обычный известняк  $\text{CaCO}_3$  или магнезит  $\text{MgCO}_3$ . Несколько более кислотостойки конструкции из доломитов и плотных кремнистых известняков. Гипсовый камень  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и ангидрид  $\text{CaSO}_4$  легко поддаются коррозионному разрушению под действием кислот; эти материалы растворимы в воде, поэтому их используют в элементах, эксплуатирующихся только внутри помещений.

Из метаморфических горных пород наиболее распространены в строительных конструкциях известняковые песчаники, гнейс, кварциты и мрамор. Известняковые песчаники, сцементированные оксидом кремния,  $\text{SiO}_2$  или  $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , весьма кислотостойки и достаточно щелочестойки.

Железистые песчаники, скрепленные гидратированными оксидами железа, некоррозионностойки.

Мрамор применяют в качестве облицовочного материала. Он корродирует с сернистыми газами и влагой. Вначале на поверхности мрамора образуется сернистая, а затем серная кислота, превращающая мрамор (карбонат кальция) в растворимый гипсовый камень:



Особенность химической коррозии конструкций из природных каменных материалов заключается в том, что она зависит от химической стойкости по отношению к агрессивной среде. Агрессивная среда характеризуется модулем основности  $M_0$ , определяемым из выражения

$$M_0 = \{(\% \text{CaO} + \% \text{Mg} + \% \text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O}))\} / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3).$$

Преобладание в материале конструкции диоксида кремния повышает стойкость к действию кислот, но делает его недостаточно стойким к основным оксидам. И наоборот, если в составе материала преобладают основные оксиды, он устойчив к действию щелочей и недостаточно стоек к действию кислот (таблица 5.19).

**Таблица 5.19 – Стойкость некоторых строительных материалов к агрессивным воздействиям**

Материал	Модуль основности	Стойкость в среде
Природный камень, содержащий 95–98 % $\text{SiO}_2$ .	<1/4	Устойчив в кислой среде, кроме плавиковой кислоты, неустойчив к основным оксидам
Природный камень, содержащий $\text{CaO}$ и $\text{CaCO}_3$	3/2	Неустойчив в кислой среде, устойчив в щелочной
Жидкое стекло	4-1/2	С кварцевым песком образует кислотоупорную массу, неустойчивую в щелочной среде

Естественные каменные материалы, подвергаясь длительному воздействию климатических и других природных факторов среды, в которой находится конструкция, испытывают многократное увлажнение и высыхание, замерзание и оттаивание. Величина и характер напряжений, возникающих в результате этих воздействий, аналогичны рассмотренным выше. При этом степень воздействия зависит от размера поверхности, контактирующей с материалом. Чем больше внешняя и внутренняя (поры, микротрещины, каверны) площадь поверхности и чем менее устойчив материал конструкции в данной среде, тем интенсивнее процесс коррозии.

Конструкции из карбонатных пород – известняков, доломитов и мрамора – относительно быстрее корродируют, чем силикатные

материалы, так как в атмосферной среде преимущественно содержатся кислые примеси.

### 5.6.2 Металлические конструкции

Под коррозией металлов понимается процесс их разрушения, вызванный химическим или электрохимическим воздействием среды.

Наиболее распространенным примером коррозии является образование ржавчины как продукта окисления железа, алюминия, меди и т. д. Разрушение металлов под влиянием кислорода воздуха, воды, кислот, растворов солей часто называют «незримым пожаром», распространяющимся всюду, где имеется металл.

Коррозия является сильным бичом металлов. Потери от нее громадны. Несмотря на применяемую защиту, ежегодно превращается в ржавчину около 10 %, или более 10 млн т металла. Однако эти прямые потери не отражают истинного объема всех потерь. Ведь от коррозии гибнет не просто металл, а строительные конструкции, стоимость которых намного выше стоимости металла, израсходованного на них. Ущерб от коррозии измеряется не только потерей металла и огромными затратами на очистку, ремонт, замену металлических изделий и конструкций, но и потерей надежности и эксплуатационной пригодности строительных объектов.

Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на металлические конструкции атмосферы воздуха, жидких неорганических сред, солей и аэрозолей и для эксплуатации металлических конструкций в грун-тах представлены, соответственно, в таблицах 5.20–5.24.

**Таблица 5.20 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии атмосферы воздуха на металлические конструкции**

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43	Группа газов по таблице А.1 (приложение А)	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии атмосферы воздуха на металлические конструкции		
		внутри отапливаемых зданий	внутри неотапливаемых зданий или под навесами	на открытом воздухе
Сухой Нормально-сухой	А	ХА0	ХА0	ХА1
	В	ХА0	ХА1	ХА1
	С	ХА1	ХА2	ХА2
	D	ХА2	ХА2	ХА3
Нормальный Нормально-влажный	А	ХА0	ХА1	ХА1
	В	ХА1	ХА2	ХА2
	С	ХА2	ХА2	ХА2
	Д	ХА2	ХА3	ХА3
Влажный, мокрый Влажный	А	ХА1	ХА2	ХА2
	В	ХА2	ХА2	ХА2
	С	ХА2	ХА3	ХА3



	D	XA2	XA3	XA3
<i>Примечания</i>				
1 При оценке класса среды по условиям эксплуатации влияние углекислого газа не учитывается.				
2 При оценке класса среды по условиям эксплуатации для алюминиевых конструкций влияние сернистого газа, сероводорода, окислов азота и аммиака в концентрациях по группам А и В не учитывается; во влажной зоне при газах группы А класс среды по условиям эксплуатации следует оценивать как XA1.				

**Таблица 5.21 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии жидких органических сред на металлические конструкции**

Органические жидкие среды	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии среды на металлические конструкции
Масла (минеральные, растительные, животные)	XA0
Нефть и нефтепродукты	XA1
Растворители (бензол, ацетон)	XA1
Растворы органических кислот	XA3
<i>Примечание</i> – Класс среды по условиям эксплуатации для нефти и нефтепродуктов указан при воздействии на поддерживающие металлические конструкции и наружную поверхность конструкций резервуаров.	

**Таблица 5.22 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии солей и аэрозолей на металлические конструкции**

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43	Характеристика солей, аэрозолей и пыли	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии среды на металлические конструкции		
		внутри отапливаемых зданий	внутри неотапливаемых зданий или под навесами	на открытом воздухе
Район (подрайон) влажности по СНБ 2.04.02	Сухой	ХА0	ХА0	ХА1
	Нормально-сухой	ХА0	ХА1	ХА1
Нормальный	Малорастворимые	ХА1	ХА1	ХА2
	Хорошо растворимые малогигроскопичные	ХА0	ХА1	ХА1
	Хорошо растворимые гигроскопичные	ХА1	ХА2	ХА2
Нормально-влажный	Малорастворимые	ХА2	ХА2	ХА2
	Хорошо растворимые малогигроскопичные	ХА0	ХА1	ХА1
	Хорошо растворимые гигроскопичные	ХА1	ХА2	ХА2
Влажный или мокрый	Малорастворимые	ХА0	ХА1	ХА1
	Хорошо растворимые малогигроскопичные	ХА1	ХА2	ХА2
Влажный	Хорошо растворимые гигроскопичные	ХА2	ХА2	ХА3
<i>Примечание</i> – Для частей ограждающих конструкций, находящихся внутри зданий, класс среды по условиям эксплуатации следует устанавливать как для помещений с влажным или мокрым режимом.				

**Таблица 5.23 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии жидких неорганических сред на металлические конструкции**

Неорганические	Водородный	Суммарная	Класс среды по условиям
----------------	------------	-----------	-------------------------

жидкие среды	показатель pH	концентрация сульфатов и хлоридов, г/л	эксплуатации при воздействии сред на металлические конструкции при свободном доступе кислорода в интервале температур от 0 до 50 °С и скорости движения до 1 м/с
Пресные природные воды	Св. 3 до 11 включ.	До 5 включ. Св. 5	XA2 XA3
	До 3 включ.	Любая	XA3
Минерализованная вода	Св. 6 до 8,5 включ.	Св. 20 до 50 включ.	XA2
Производственные оборотные и сточные воды без очистки	Св. 3 до 11 включ.	До 5 включ. Св. 5	XA2 XA3
Сточные жидкости животноводческих зданий	Св. 5 до 9 включ.	До 5 включ.	XA2
Растворы неорганических кислот	До 3 включ.	Любая	XA3

Окончание таблицы 5.23

Неорганические жидкие среды	Водородный показатель pH	Суммарная концентрация сульфатов и хлоридов, г/л	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии сред на металлические конструкции при свободном доступе кислорода в интервале температур от 0 до 50 °С и скорости движения до 1 м/с
Растворы щелочей	Св. 11	Любая	XA2
Растворы солей концентрации св. 50 г/л	Св. 3 до 11 включ.	Любая	XA3
<i>Примечание</i> – При насыщении воды хлором или сероводородом следует принимать класс среды по условиям эксплуатации на одну степень выше.			

Таблица 5.24 – Классы среды по условиям эксплуатации для металлических конструкций в грунтах

Средняя годовая температура воздуха, °С*	Характеристика грунтовых вод**		Класс среды по условиям эксплуатации для грунтов ниже уровня грунтовых вод	Класс среды по условиям эксплуатации для грунтов выше уровня грунтовых вод***		
	pH	суммарная концентрация сульфатов и хлоридов, г/л		в районах (подрайонах) влажности по СНБ 2.04.02	при значениях удельного сопротивления грунтов, Ом	
					до 20	св. 20
Св. 0 до 6 включ.	До 5 включ.	Любая	XA3	Влажный	XA3	XA2
	Св. 5	До 1 включ.	XA1	Нормально-сухой	XA2	XA1
	Св. 5	Св. 1	XA2	Нормально-влажный	XA3	XA2
Св. 6	До 5	Любая	XA3	Влажный	XA3	XA3

	включ.					
	Св. 5	До 5 включ.	ХА2	Нормально- сухой	ХА2	ХА2
	Св. 5	Св. 5	ХА3	Нормально- влажный	ХА3	ХА2
<p>* Средняя годовая температура воздуха определяется по СНБ 2.04.02.  ** Не рассматривается воздействие геотермальных вод.  *** Для высокофильтрующих и среднефильтрующих грунтов с коэффициентом фильтрации св. 0,1 м/сут.</p>						

По механизму протекания коррозию разделяют на *химическую и электрохимическую*.

По условиям протекания различают коррозию:

- газовую, обычно протекающую при высоких температурах;
- в неэлектролитах (бензин, керосин и т. д.);
- в электролитах (солях, кислотах, щелочах) при полном, частичном или периодическом погружении, в движущейся или покоящейся среде;
- в естественных природных условиях (атмосферную, морскую, подземную);
- под воздействием внешнего тока (электрокоррозию);
- радиохимическую (под воздействием радиоактивного излучения);
- биологическую (под воздействием продуктов жизнедеятельности микроорганизмов);
- фреттинг-коррозию, или коррозионную эрозию (при одновременном воздействии коррозионной среды и сил трения);
- при кавитации (ударном воздействии коррозионной среды);
- контактную (при контакте металлов, имеющих различные потенциалы);
- щелевую, протекающую в узких щелях и зазорах между отдельными деталями;
- структурную, обусловленную структурной неоднородностью сплава;
- термоконтактную, возникающую за счет температурного градиента, обусловленного неравномерным нагреванием поверхности металла.

По характеру коррозионных поражений различают сплошную (или общую) и местную коррозию.

Основные виды коррозии стальных строительных конструкций по характеру коррозионных поражений представлены в таблице 5.25.

Сплошная коррозия характеризуется относительно равномерным по всей поверхности постепенным проникновением вглубь металла, т. е. уменьшением толщины сечения элемента или толщины защитного металлического покрытия.

Коррозия пятнами (неравномерная) характеризуется небольшой глубиной проникновения коррозии по сравнению с поперечными (в поверхности) размерами коррозионных поражений, отдельные участки

конструкций покрываются продуктами коррозии, как и при сплошной коррозии.

Язвенная коррозия характеризуется появлением на поверхности конструкции отдельных или множественных повреждений, глубина и поперечные размеры которых (от долей миллиметра до нескольких миллиметров) соизмеримы. Язвенная коррозия обычно сопровождается образованием толстых слоев продуктов коррозии, покрывающих всю поверхность металла или значительные ее участки вокруг отдельных крупных язв (характерно для коррозии незащищенных конструкций в грунтах).

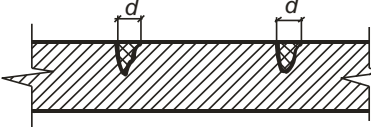

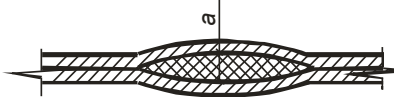

Точечная (питтинговая) коррозия характеризуется появлением на поверхности конструкций отдельных мелких (не более 1 мм в диаметре) и глубоких (глубина больше поперечных размеров) язвочек.

Межкристаллитная коррозия характеризуется относительно равномерным распределением множественных трещин на больших участках поверхности конструкций, особенно в зоне сварки. Глубина трещин обычно меньше, чем их размеры на поверхности.

Коррозионное растрескивание – вид квазихрупкого разрушения стали при одновременном воздействии статистических напряжений растяжения и агрессивных сред, характеризуется образованием единичных и множественных трещин, связанных с концентрацией основных рабочих и внутренних напряжений. Трещины могут распространяться между кристаллами или по телу зерен, но с большей скоростью в плоскости, нормальной к действующим напряжениям, чем в плоскости поверхности.

**Таблица 5.25 – Основные виды коррозии стальных строительных конструкций по характеру разрушения**

Наименование вида коррозии	Эскиз	Предельное значение
Сплошная		Не допускается
Пятнами (равномерная)		Не допускается
Язвенная		$h_{я} \leq 0,5 \text{ мм},$ $d_{я} \leq 2 \text{ мм}$

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

Коррозионная усталость – вид квазихрупного разрушения материалов при одновременном воздействии циклических напряжений и жидких агрессивных сред. Она характеризуется теми же внешними признаками, что и коррозионное растрескивание.

Контактная коррозия выражается в резком, чаще всего в местном увеличении глубины проникновения сплошной коррозии одного из двух разнородных металлов или сплавов, между которыми существует электрический контакт за счет металлической связи одновременного воздействия одной и той же электропроводной среды (электролита) на оба металла или сплава.

Щелевая коррозия в чистом виде присуща конструкциям из нержавеющей стали в агрессивных жидких средах, в которых материалы вне узких щелей и зазоров устойчивы благодаря пассивному состоянию, т. е. вследствие образования на их поверхности защитной пленки. Из-за недостаточного доступа кислорода в узкие щели и зазоры пассивное состояние стали в них неустойчиво, металл в щелях становится анодным по отношению к металлу вне щелей и зазоров, коррозия протекает подобно контактной.

**5.6.2.1 Показатели коррозии.** В настоящее время известны различные показатели (критерии) оценки степени или скорости коррозии металлов. К наиболее часто используемым относятся.

*Прямые показатели коррозии:*

– убыль или увеличение массы, отнесенные к единице поверхности металла;

- глубина коррозии;
- доля поверхности, занятая продуктами коррозии;
- количество коррозионных язв или точек на единице поверхности;
- объем выделившегося с единицы поверхности водорода или поглощенного кислорода;
- время до появления первого очага коррозии;
- время до появления коррозионной трещины или полного разрушения образца;
- сила тока коррозии.

*Косвенные показатели коррозии:*

- изменение физико-механических свойств металла (предела прочности при испытаниях на сжатие и разрыв, относительного удлинения, отражательной способности и др.);
- изменение электросопротивления.

Некоторые из приведенных показателей, отнесенные к времени развития коррозионного процесса, выражают скорость коррозии, например в случае равномерной коррозии ее скорость может быть определена по формуле

$$v = \Delta m / (St),$$

где  $\Delta m$  – убыль (увеличение) массы;

$S$  – площадь поверхности;

$t$  – время.

Обычно  $v$  выражают в таких единицах: г/(м<sup>2</sup>·ч) или мг/(см<sup>2</sup>·сут). Весовой показатель не всегда удобен, особенно если сравнивается коррозия металлов разной плотности. В таких случаях лучше пользоваться глубинным показателем коррозии, т. е. средней глубиной проникновения коррозионного разрушения в металл, мм/год:

$$П = 8,76 v / \rho,$$

где 8,76 – коэффициент для перехода от измерения весового показателя скорости коррозии в расчете на 1 ч к глубинному показателю в расчете на 1 год (24 ч × 360 = 8760 ч);

$v$  – скорость коррозии, г/(м<sup>2</sup>·ч);

$\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>.

В том случае, если коррозия имеет местный характер, скорость ее не может быть точно охарактеризована весовым или глубинным показателем. При питтинговой коррозии необходимо определять максимальный глубинный показатель. При межкристаллитной коррозии и коррозионном растрескивании скорость коррозии количественно характеризуется механическим показателем коррозии, например по потере прочности:

$$K_{\sigma} = (\sigma_0 - \sigma_1 / \sigma_0) \cdot 100 \%,$$

где  $\sigma_0$  – предел прочности до коррозии;

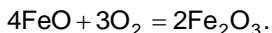
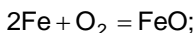
$\sigma_1$  – предел прочности после коррозии, рассчитанный по отношению к первоначальной площади сечения металлического образца.

Для грубой оценки коррозионной стойкости металлов существует десятибалльная шкала (таблица 5.26).

**Таблица 5.26 – Оценка коррозионной стойкости металлов**

Группа стойкости	Глубинный показатель коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	0,001	1
Весьма стойкие	0,001–0,005	2
	0,005–0,010	3
Стойкие	0,01–0,05	4
	0,05–0,10	5
Пониженностойкие	0,1–0,5	6
	0,5–1,0	7
Малостойкие	1,0–5,0	8
	5,0–10,0	9
Нестойкие	10,0	10

**5.6.2.2 Химическая коррозия.** Наиболее важным видом химической коррозии является *газовая коррозия*. Реакции, протекающие при соприкосновении металлоконструкций с кислородом или другими окисляющими газами при высокой температуре (свыше 100 °С):



Металлы менее активны по отношению к кислороду при высоких температурах, чем при низких. При нагревании оксида металла до определенной температуры происходит его диссоциация (разложение). Оксид образуется на поверхности металлоконструкций, если давление диссоциации меньше, чем давление кислорода в окружающей среде. У оксида железа FeO давление диссоциации очень мало даже при температуре 2000 °С, поэтому окисление стальных конструкций происходит и при более высоких температурах. Аналогично ведут себя алюминиевые, медные, никелевые конструкции.

Если в результате химической коррозии образуется сплошная оксидная пленка, имеющая достаточно прочную адгезию с поверхностью металлоконструкции, то доступ кислорода к металлу затрудняется, коррозия замедляется, а затем и совсем прекращается. Пористая, плохо связанная с поверхностью конструкции оксидная пленка не защищает металл от коррозии. Когда объем оксида больше объема вступившего в реакцию окисления металла и оксид имеет достаточную адгезию с

поверхностью металлоконструкции, такая пленка хорошо защищает металл от дальнейшего разрушения. Толщина защитной пленки оксида колеблется от нескольких молекулярных слоев ( $5 \dots 10$ )· $10^{-5}$  м до нескольких микронов.

Толщина оксидной пленки увеличивается только в том случае, если через нее диффундирует кислород. Если ионы металла и принадлежащие им электроны диффундируют из металла через оксидную пленку намного быстрее, чем кислород, то толщина оксидной пленки увеличивается над границей газа и оксида (рисунок 5.2).

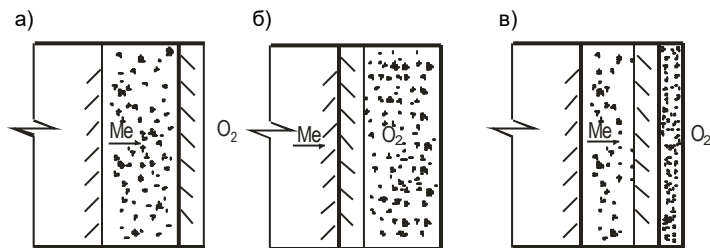


Рисунок 5.2 – Схема роста оксидной пленки при газовой коррозии:  
а – рост пленки со стороны газовой среды; б – то же, со стороны поверхности металла; в – то же, между поверхностью металла и средой

Обычно в условиях эксплуатации наблюдается именно такой механизм роста оксидной пленки металла, так как размер ионов самого металла меньше молекул кислорода. Окисление материалов металлоконструкций, соприкасающихся с газовой средой, происходит в котлах, дымовых трубах котельных, водонагревателях, работающих на газовом топливе, теплообменниках, работающих на жидком и твердом топливе.

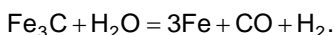
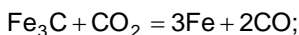
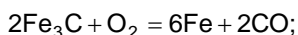
Если бы газообразная среда не содержала диоксида серы или других агрессивных примесей, а взаимодействие металлоконструкций со средой происходило при постоянной температуре по всей плоскости конструкции, то относительно толстая оксидная пленка служила бы достаточно надежной защитой от дальнейшей коррозии.

В действительности распределение температуры по поверхности и объему металла неодинаково, особенно в чугунных котлах, работающих на газовом топливе. В связи с тем, что тепловое расширение металла и оксида различно, оксидная пленка отслаивается местами, что создает условия для дальнейшей коррозии. При взаимодействии со стальной конструкцией диоксида серы, содержащегося в продуктах горения топлива, образуется сульфид железа, который при высокой температуре разлагается и окисляет металл. Вторичный оксид железа, который сопровождает этот процесс, более пористый и не защищает металл от



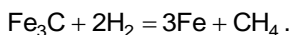
дальнейшей коррозии. Коррозия металла ускоряется диоксидом углерода.

Интенсивность газовой коррозии зависит от свойств и скорости движения газов или воздушной среды, их температуры, равномерности нагрева материала конструкции и др. Для сплавов значительное влияние на скорость коррозии оказывает разница в интенсивности окисления различных компонентов. При нагревании стальных конструкций в результате контакта их с газообразной средой, содержащей кислород, диоксид углерода или водяные пары, окисление происходит по одной из нижеприведенных реакций:



Содержание углерода в поверхностном слое конструкции уменьшается, и сталь превращается в мягкое железо – обезуглероживается. Так как углерод в стали диффундирует быстрее, чем ионы металла, из сплава на поверхность выходят все новые и новые атомы углерода, которые окисляются до оксида углерода. Вследствие этого сталь приобретает свойство текучести и конструкция сильно деформируется, а затем разрушается.

Газовая коррозия стальных конструкций может протекать вследствие не только окислительных, но и восстановительных процессов. При сильном нагреве стальных конструкций под высоким давлением в среде, содержащей водород, водород диффундирует в объем стали и разрушает материал по двойному механизму – обезуглероживания стали из-за взаимодействия водорода с углеродом и придания стали свойств хрупкости вследствие растворения в ней водорода – «водородная хрупкость»:



На скорость газовой коррозии металлов влияют внутренние факторы: природа металла, химический и фазовый состав сплава, механические напряжения и деформация, а также внешние факторы: состав и давление газовой среды, скорость ее движения, температура, режим нагрева.

Состав и структура сплава. Увеличение содержания углерода в сталях уменьшает скорость их окисления. Сера и фосфор на скорость окисления влияют незначительно. Добавки хрома, алюминия и кремния замедляют процесс окисления. Легирование титаном, медью, кобальтом и бериллием менее эффективно. Ванадий, молибден, вольфрам ускоряют окисление стали. Скорость

окисления меди снижается добавками алюминия, бериллия, олова и цинка.

На скорость окисления влияет структура сплава. Наиболее жаростойкой является сталь с аустенитной структурой. С увеличением содержания ферритной составляющей скорость окисления стали возрастает. Жаростойкость чугунов зависит от формы графитовых включений. При шаровидной форме графита жаростойкость чугуна выше, чем при любой другой.

Деформация металла при нагреве может вызвать разрушение оксидных пленок и увеличить скорость окисления.

Состав газовой среды. При высоких температурах металлы могут взаимодействовать с кислородом, парами воды, оксидом углерода (IV) и оксидом серы (IV).

При этом скорости окисления железа, кобальта и никеля (при температуре 900 °С) возрастают в ряду  $H_2O \rightarrow CO_2 \rightarrow O_2 \rightarrow SO_2$ . В отличие от указанных металлов медь практически не корродирует в  $SO_2$ , вольфрам слабо корродирует в  $CO_2$ .

В среде перечисленных газов скорость газовой коррозии возрастает в ряду  $Cr \rightarrow Ni \rightarrow Co \rightarrow Fe$ .

Примеси. Примеси  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  в воздухе значительно увеличивают скорость газовой коррозии малоуглеродистой стали.

При нагревании в атмосфере  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  кроме окисления может происходить обезуглероживание. Последнее возможно также в атмосфере, содержащей водород. В атмосфере  $CO$ , наоборот, может происходить науглероживание.

Температура. С увеличением температуры для металлов происходит снижение термодинамической возможности окисления. При этом константа скорости реакции окисления возрастает, а это приводит к увеличению скорости газовой коррозии.

Большое влияние на скорость окисления металлов оказывает режим нагрева. Колебания температуры при нагреве (особенно при попеременном нагреве и охлаждении) вызывают разрушение оксидных пленок и увеличение скорости газовой коррозии.

**5.6.2.3 Электрохимическая коррозия.** Процесс коррозии металлов в подавляющем большинстве случаев имеет электрохимический механизм, для действия которого необходимо присутствие влаги на поверхности металла.

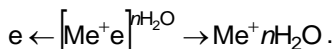
Электрохимическая коррозия металлических конструкций приводит к наибольшим разрушениям. Это объясняется тем, что среда, в которой она происходит (электролит, представляющий грунтовую или атмосферную влагу, морскую или водопроводную воду), очень широко распространена в производственных процессах и быту.

Электрохимическая коррозия возникает при соприкосновении металлов с электролитами, т. е. с растворами, обладающими электропроводностью.

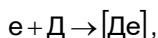
Сущность электрохимической коррозии состоит в деятельности гальванических микро- и макроэлементов: разнородные металлы, находясь в электролите, вызывают коррозию, которая является следствием работы коррозионных гальванических элементов или пар с замкнутой цепью.

При контакте с воздухом на поверхности конструкции появляется тонкая пленка влаги, в которой растворяются примеси, находящиеся в воздухе, например диоксид углерода. При этом образуются растворы, вызывающие электрохимическую коррозию.

Электрохимическая коррозия – явление сложное, состоящее из нескольких процессов. На анодных участках протекает анодный процесс – в раствор переходят ионы металла (Me), а избыточные электроны (e), оставаясь в металле, движутся к катодному участку. Схема этого процесса следующая:



На катодных участках поверхности металла избыточные электроны поглощаются ионами, атомами или молекулами электролита (деполяризаторами), которые восстанавливаются:



где D – деполяризатор;

e – электрон.

Интенсивность коррозионного электрохимического процесса зависит от скорости анодной реакции, при которой ион металла переходит из кристаллической решетки в раствор электролита, и катодной, заключающейся в ассимиляции освобождающихся при анодной реакции электронов. Возможность перехода иона металла в электролит определяется силой связи с электронами в междоузлиях кристаллической решетки. Чем сильнее связь между электронами и атомами, тем труднее вызвать переход иона металла в электролит.

В электролитах имеются положительно заряженные частицы – катионы и отрицательно заряженные – анионы. Анионы и катионы присоединяют к себе молекулы воды. Структура молекул воды обуславливает ее полярность (рисунки 5.3).

Между заряженными ионами и полярными молекулами воды возникает электростатическое взаимодействие, вследствие которого полярные молекулы воды определенным образом ориентируются вокруг анионов и катионов (рисунок 5.4).

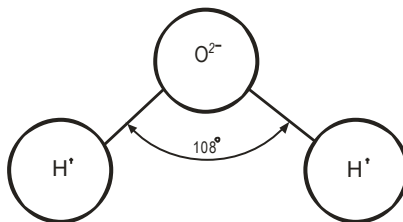


Рисунок 5.3 – Строение молекулы воды

При переходе ионов металлов из кристаллической решетки в раствор электролита освобождается эквивалентное число электронов. Таким образом, на границе металл – электролит образуется двойной электрический слой, в котором металл заряжен отрицательно, электролит – положительно; возникает скачок потенциала.

Способность ионов металла переходить в раствор электролита характеризуется электродным потенциалом, который представляет собой энергетическую характеристику двойного электрического слоя. Когда этот слой достигает разности потенциалов, переход ионов в раствор прекращается и наступает равновесное состояние.

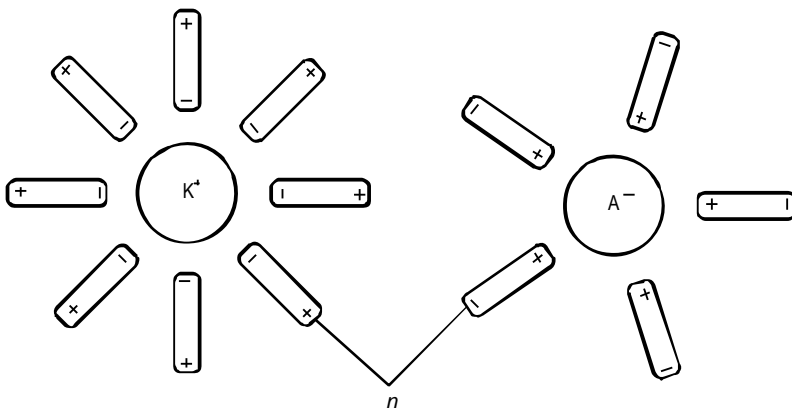


Рисунок 5.4 – Гидратация ионов:

A<sup>-</sup> – анод; K<sup>+</sup> – катод; n – полярные молекулы воды

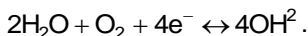
Потенциалы металлов, находящиеся в растворе в равновесии с собственными ионами, называются равновесными. Величина равновесного электродного потенциала зависит от природы металла и раствора, температуры и активности ионов металла в электролите. Когда активность ионов металла в растворе равна единице, а температура электролита 25 °С, значение потенциала данного металла соответствует стандартному.

Ниже приведены стандартные электродные потенциалы некоторых металлов, В:

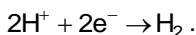
Al/Al <sup>3+</sup>	-1,66	Fe/Fe <sup>3+</sup>	-0,037
Zn/Zn <sup>2+</sup>	-0,762	V <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> )H <sup>+</sup>	0,000
Fe/Fe <sup>2+</sup>	-0,440	Cu/Cu <sup>2+</sup>	+0,337

По значениям этих величин можно определить электродвижущую силу элемента, составленного из двух разноименных металлов. Например, для элемента из медного и цинкового электродов, погруженных в растворы собственных ионов с активностью 1 г·ион/л, электродвижущая сила  $U = E_{Cu} - E_{Zn} = +0,337 - (-0,762) = 1,099$  В.

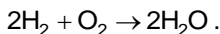
При электрохимической коррозии на одних участках металлоконструкции протекают анодные, на других – катодные процессы. При этом на катодных участках вода и растворенный в ней кислород присоединяют свободные электроны, образуя гидроксильную группу:



Если в электролите много гидроксильных групп или раствора кислот, возможен также катодный процесс нейтрализации ионов водорода:



Эта реакция вследствие накопления молекул водорода сильно замедляется в случае прекращения окисления водорода. Процессы окисления водорода протекают в присутствии кислорода воздуха, который под влиянием металлического катализатора вступает в реакцию с водородом, образуя воду:



Продукты коррозии являются результатом вторичных процессов взаимодействия гидратированных ионов с кислородом. Если они хорошо растворимы, то могут переноситься от места их образования. Если же труднорастворимы, какими являются, как правило, продукты коррозии стали, то откладываются на ее поверхности, образуя более или менее четко выраженный растущий слой ржавчины, которая состоит из оксидов и гидроксидов железа.

Если катодный процесс протекает беспрепятственно, то и разрушение на аноде происходит не затухая. Однако в процессе работы коррозионных элементов изменяются их поверхности, уменьшается разность потенциалов, коррозия затухает, и это называется поляризацией. Данный процесс полезен для защиты металла от коррозии; он обусловлен «обрастанием» электрода пузырьками водорода и пленками из продуктов коррозии. Поляризация может происходить как за счет смещения потенциала

анода в положительную сторону (анодная поляризация), так и за счет смещения потенциала катода в отрицательную сторону (катодная поляризация). Вещества, которые вступают в реакцию с поляризаторами и тем самым усиливают коррозию, называются деполяризаторами, а сам процесс – деполяризацией. Например, приток кислорода к катоду вызывает реакцию с водородом, приводит к образованию воды и освобождению поверхности катода для развития гальванического процесса. Там, где имеется доступ кислорода к конструкции, коррозия не прекращается, если ее не задерживают окисные пленки – продукты коррозии.

Разрушению в электролите подвергаются не все металлы, а только электрохимически неоднородные, создающие гальванические пары. Под электрохимической неоднородностью понимается наличие разных электродных потенциалов в разных точках поверхности металлической конструкции, обусловленное неоднородностью самого металла и окружающей его среды, играющей роль электролита.

При длительной эксплуатации конструкции во влажной или водной среде на ее поверхности образуется несколько слоев ржавчины. Самый глубокий – оксид типа  $\text{FeO}$ , затем магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , гидратированный магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и обычная красно-коричневая ржавчина  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , расположенная непосредственно на границе с электролитом. Так как доступ кислорода к более глубоким слоям оболочки из продуктов коррозии затруднен, в них образуются оксиды железа высшей валентности.

При образовании оксидов железа с валентностью ниже трех соединения также осаждаются на расстоянии нескольких молекулярных диаметров от анода и представляют собой рыхлый осадок, плохо сцепленный с поверхностью металла. Образовавшийся слой ржавчины приводит к дальнейшей коррозии.

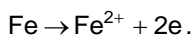
Электрохимическая коррозия возникает также при повреждении на отдельных участках оксидной или другой защитной пленки, в этом случае оксидная пленка служит катодом, на котором под действием кислорода образуются ионы гидроксида, а оголенная поверхность металла становится анодом.

Локальными коррозионными элементами могут быть микроскопические или субмикроскопические примеси на микроскопически однородной поверхности. Любое загрязнение, например чужеродный металл, осаждающийся на поверхности металлической конструкции, вызывает появление электродного потенциала и служит причиной начала коррозионного процесса.

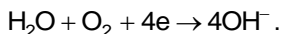
Наиболее опасными, вызывающими точечную коррозию, являются процессы неравномерной аэрации, сопровождающие неодинаковую

скорость доставки кислорода к различным участкам конструкции. Участки, плохо снабжающиеся кислородом, становятся анодами и разрушаются.

Процессы точечной коррозии характерны для неравномерной аэрации в объеме электролита, представленного каплей. Это явление, например, для стальной не оцинкованной кровли объясняется следующим. Сталь при окислении быстро поглощает растворенный в капле кислород. Соприкасающаяся с воздухом кромка капли снабжается кислородом более интенсивно по сравнению с центральной частью, куда доступ кислорода затруднен. В середине капли железо под действием сил гидратации будет переходить в раствор капли в виде двухвалентного иона:



На краях капли в это время протекает процесс



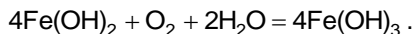
Образующиеся гидроксил-ионы диффундируют внутрь капли, где вступают во взаимодействие с ионами двухвалентного железа. В результате реакции образуется гидроксид железа, который в дальнейшем при взаимодействии с кислородом переходит в ржавчину.

Точечная коррозия образуется также там, где анодами становятся относительно небольшие участки поверхности конструкции, покрытые адсорбированными пузырьками газа или другого инертного по отношению к материалу конструкции вещества. Под такими частичками кислород быстро иссякает, дальнейшее его поступление по сравнению с другими участками затруднено, вследствие чего образовавшиеся аноды быстро разрушаются, вызывая точечные поражения поверхности конструкций.

Интенсивность коррозионных процессов в большинстве случаев является функцией активности ионов водорода в растворе. Увеличение активности ионов водорода равносильно снижению pH раствора сопровождается увеличением скорости коррозии. Растворы с высоким содержанием pH (щелочные среды) растворяют металлы, гидраты окислов которых амфотерны (алюминий, цинк, свинец, олово и др.). Железо относится к металлам, которые растворяются в щелочах только при высоких концентрациях гидроксил-иона.

**5.6.2.4 Коррозия основных конструкционных металлов и сплавов. Железо и его сплавы.** Железо может корродировать и с кислородной, и с водородной деполяризацией. В нейтральных растворах коррозия железа протекает преимущественно с кислородной деполяризацией. Образующиеся при этом продукты (катионы  $\text{Fe}^+$  и анионы  $\text{OH}^-$ )

взаимодействуют с образованием гидроксида железа (II) белого цвета, который окисляется до гидроксида железа (III) бурого цвета:



При дальнейшем превращении этих продуктов образуется ржавчина, состав которой можно выразить уравнением  $n\text{Fe}_2\text{O}_3 + m\text{FeO} + g\text{H}_2\text{O}$  .

*Основные факторы, обуславливающие коррозию железа и его сплавов.*

**Влияние кислорода и анионов.** С увеличением содержания кислорода в коррозионной среде скорость коррозии железа вначале возрастает, достигая максимального значения (для водных растворов) при содержании кислорода  $16 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ , затем уменьшается. Последнее обусловлено пассивацией железа за счет образования оксидной пленки. В нейтральных растворах хлоридов или сульфатов увеличение концентрации соли приводит к экстремальному изменению скорости коррозии. При этом для раствора NaCl максимум скорости соответствует 3%-й концентрации раствора. При меньшем содержании NaCl анионы  $\text{Cl}^-$  активируют и облегчают анодный процесс, при большем содержании уменьшается растворимость кислорода.

В присутствии анионов  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CrO}_4$  и других скорость коррозии железа понижается и может быть сведена к нулю за счет анодного процесса.

**Влияние pH раствора.** Скорость коррозии железа в кислых средах уменьшается с повышением pH до четырех, а затем остается постоянной до pH = 9,5 (рисунок 5.5). Это обусловлено образованием  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , насыщенный раствор которого имеет pH = 9,5. При большем pH железо пассивируется и скорость коррозии уменьшается. В концентрированных щелочах при повышенной температуре скорость коррозии может снова увеличиться за счет образования гипоферрита  $\text{FeO}_2^{2-}$ , при этом выделяется водород.

В неокислительных кислотах (HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  разб.) коррозия железа происходит с водородной деполяризацией. При повышении концентрации HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  скорость коррозии увеличивается, достигая максимума в 30%-х и 50%-х растворах соответственно. При более высокой концентрации кислот железо пассивируется и коррозия не

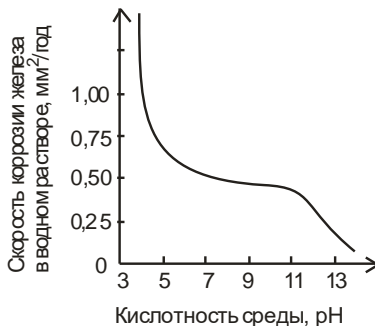


Рисунок 5.5 – Зависимость скорости коррозии железа в водном растворе от кислотности среды



происходит. В растворе HCl скорость коррозии железа ниже, чем в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> такой же концентрации.

Атмосферная коррозия железа протекает с кислородной деполаризацией. При этом под тонкой пленкой влаги коррозия идет более интенсивно, чем при полном погружении материала в электролит. Критическая влажность для чистого железа в чистом воздухе составляет примерно 100 %, при содержании 0,1 % SO<sub>2</sub> – 70 %, а при наличии на поверхности ржавчины – 55–65 %.

Коррозии железа способствует загрязнение воздуха SO<sub>2</sub>, HCl, H<sub>2</sub>S, Cl<sub>2</sub>, NaCl, NaSO<sub>4</sub>, а также частичками угля. Образовавшиеся продукты коррозии оказывают защитное действие, поэтому скорость атмосферной коррозии со временем снижается. Например, в условиях промышленной атмосферы скорость атмосферной коррозии железа за 9 лет снижается в 20 раз. Следует отметить, что это не относится к прокатной окалине, которая всегда усиливает коррозию.

Коррозия низколегированных сталей. Сталь – основной конструкционный материал. Компонентом, во многом определяющим механические свойства сталей, является углерод, в низколегированных сталях наибольшее его количество содержит цементит. Электродный потенциал цементита обычно более положителен, чем остальных структурных составляющих стали, поэтому он работает в качестве катода. При коррозии в атмосферных условиях цементит и другие катодные составляющие мало влияют на скорость коррозии.

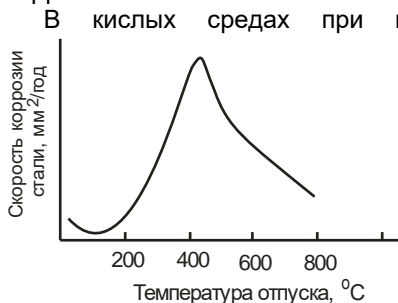


Рисунок 5.6 – Зависимость скорости коррозии стали от температуры отпуска

В кислых средах при протекании коррозии с водородной деполаризацией влияние цементита весьма велико. В общем повышение содержания углерода в стали увеличивает скорость ее коррозии в кислотах. Скорость коррозии стали возрастает также с увеличением содержания карбидов, которое зависит от температуры отпуска: с повышением температуры оно сначала возрастает, а затем уменьшается. Этим же обусловлена аналогичная зависимость скорости коррозии стали от температуры отпуска (рисунок 5.6).

Изменение содержания основных легирующих элементов в низколегированных сталях не оказывает существенного влияния на скорость коррозии. Присутствие серы увеличивает скорость

атмосферной коррозии и коррозии в кислотах. Медь (0,3–0,8 %) заметно повышает устойчивость низколегированных сталей к атмосферной коррозии.

**Высокохромистые стали.** Сталь с содержанием хрома не менее 12 % переходит в пассивное состояние. При этом скорость коррозии снижается. В кислотах-неокислителях ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  разб.) с увеличением содержания хрома скорость коррозии стали растет, а в кислотах-окислителях ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  конц.) снижается. Коррозионная стойкость этих сталей зависит от вида термической обработки. После закалки они обладают высокой коррозионной стойкостью, которая после отпуска уменьшается вследствие выпадения карбидов хрома. Наиболее сильно коррозионная стойкость снижается после отжига таких сталей, поскольку при этом карбиды хрома целиком выпадают из твердого раствора.

**Хромоникелевые аустенитные стали.** Введение никеля в хромистые стали расширяет аустенитную область и улучшает их механические свойства. Коррозионная стойкость таких сталей обусловлена в основном хромом. Никель несколько увеличивает их стойкость в кислотах-неокислителях. Аустенитные стали неустойчивы в кипящей  $\text{HNO}_3$  (из-за перепассивации), корродируют в соляной, разбавленной серной, ледяной уксусной и в кипящих щавелевой и муравьиной кислотах. В определенных условиях они склонны к локальной коррозии и коррозионному растрескиванию. Так, склонность к межкристаллитной коррозии такие стали обнаруживают после закалки с температуры 900–1100 °С в растворах  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaCl}$  и других кислот.

**Медь и ее сплавы.** Медь может корродировать только с кислородной деполаризацией и переходит в раствор в виде  $\text{Cu}^{2+}$ . При взаимодействии  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$  образуется труднорастворимый гидроксид  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ . В присутствии  $\text{H}_2\text{S}$  образуется  $\text{CuS}$ , углекислого газа –  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ , сернистого газа –  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ . В воде, нейтральных растворах и в атмосферных условиях медь обладает высокой коррозионной стойкостью за счет образования защитных пленок из продуктов коррозии  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $(\text{CuOH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ . В присутствии сернистого газа образуется пленка  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ , не обладающая защитными свойствами, поэтому коррозия меди усиливается.

Медь устойчива в кислотах-неокислителях и легко растворяется в кислотах-окислителях. Сплавы меди могут обладать как большей коррозионной стойкостью (оловянистые бронзы, алюминиевые бронзы), так и меньшей (латунь). Латунь подвержена избирательной коррозии при

содержании цинка более 15 % и коррозионному растрескиванию. Растрескивание деформированных латуней наблюдается в аммиаке, оксиде серы (IV), аммонийных солях.

**Алюминий и его сплавы.** На воздухе алюминий покрывается пленкой  $Al_2O_3$  толщиной 5–20 нм. Алюминий может корродировать и с кислородной, и с водородной деполяризацией. Продукты коррозии взаимодействуют с  $OH^-$ , образуя при  $pH > 4$  труднорастворимый  $Al(OH)_3$ , превращающийся затем в  $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ .

Оксидная и гидроксидная пленки обладают хорошей защитной способностью, поэтому алюминий устойчив в нейтральных растворах электролитов, не содержащих активаторов ( $Cl^-$ ), в атмосферных условиях (даже в присутствии  $SO_2$ ). Скорость коррозии алюминия возрастает как при уменьшении, так и при увеличении  $pH$ , что связано с амфотерными свойствами оксида и гидроксида алюминия.

Скорость коррозии алюминия в нейтральных и кислых средах увеличивается в присутствии железа, меди, серы.

Рассмотрим сплавы алюминия.

**Дуралюмин** (сплав  $Al-Cu$ ) приобретает высокие механические свойства только после старения. При естественном старении коррозионная стойкость дуралюмина не снижается. При искусственном старении интерметаллиды  $CuAl_2$ , выпадающие по границам зерен, снижают коррозионную стойкость алюминия. Коррозионная стойкость сплава  $Al-Zn$  (В95) ниже, чем дуралюмина, который корродирует даже после естественного старения, а сплава  $Al-Mn$  – выше.

**Магний** имеет сильно отрицательный стандартный электродный потенциал, поэтому легко корродирует с водородной и кислородной деполяризацией. Он корродирует практически в любых кислотах, кроме плавиковой  $HF$  (образуется защитная пленка  $MgF_2$ ), а в нейтральных растворах корродирует с водородной деполяризацией. Наиболее легко магний корродирует в  $NH_4Cl$ , растворяющем пленку гидроксида  $Mg(OH)_2$ .

Примеси никеля, железа, меди увеличивают скорость коррозии магния в нейтральной среде. Коррозию во влажной среде усиливают хлориды.

Коррозионная стойкость сплавов магния находится на уровне стойкости чистого магния или превышает его (сплавы  $Mg-Al$ ).

**Никель** по сравнению с железом больше склонен к пассивации. В нейтральных растворах никель корродирует с кислородной деполяризацией, в растворах кислот-неокислителей слабо корродирует с водородной деполяризацией. Он малоустойчив в азотной кислоте.

Атмосферная коррозия зависит от наличия механических напряжений. Устойчив в сельской и морской атмосфере. В индустриальной атмосфере, содержащей  $\text{SO}_2$ , никель быстро тускнеет и заметно корродирует.

**Титан** легко пассивируется и хорошо сохраняет пассивное состояние даже в растворах, содержащих активаторы (анионы  $\text{Cl}^-$ ). Этим объясняется его высокая коррозионная стойкость в морской воде,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Однако приложение растягивающих усилий может значительно увеличить скорость коррозии титана в этих средах. Сплавы  $\text{Ti} - \text{Al}$  склонны к коррозионному растрескиванию.

**Цинк и кадмий** могут корродировать как с водородной, так и с кислородной деполяризацией. Железо, медь и другие примеси с низким перенапряжением водорода ускоряют коррозию цинка в кислотах. Чистый цинк в кислотах-неокислителях корродирует слабо.

В нейтральных растворах цинк и кадмий корродируют с кислородной деполяризацией. При этом на поверхности данных металлов образуются защитные пленки гидроксидов. Гидроксид цинка амфотерен и растворяется в кислотах и щелочах, поэтому при повышении pH скорость коррозии цинка сначала понижается, а потом снова повышается. Для гидроксида кадмия характерны только основные свойства, поэтому при повышении pH скорость его коррозии уменьшается. В нейтральной среде скорость коррозии цинка зависит от температуры. При температуре менее 50 и более 95 °C на поверхности цинка образуется плотная защитная пленка. В интервале температур 50–95 °C образуется зернистая пленка с низкими защитными качествами. В атмосфере коррозия цинка усиливается в присутствии  $\text{SO}_2$ , хлоридов, при высокой влажности и температуре. В этих условиях кадмий более стоек, зато цинк более устойчив в промышленной атмосфере.

**5.6.2.5 Атмосферная коррозия.** Большинство металлоконструкций эксплуатируется в атмосферных условиях, поэтому *атмосферная коррозия* – наиболее распространенный вид коррозии.

По агрессивности атмосферы разделяют на следующие основные типы: морскую, промышленную, тропическую, арктическую, городскую и сельскую.

Коррозионные повреждения вызывают конденсация паров влаги из воздуха и атмосферные осадки. Конструкции зданий подвергаются увлажнению даже в тех случаях, когда они находятся в относительно сухой атмосфере. Выпадение конденсата на поверхности конструкций обусловлено прежде всего суточными колебаниями температуры окружающего воздуха. Содержание водяных паров в воздухе при понижении температуры достигает полного насыщения, что соответствует точке росы. При незначительном охлаждении воздуха

ниже точки росы пары начинают конденсироваться на поверхности конструкции. Расчеты показывают, что при относительной влажности воздуха, равной 70 %, для выпадения конденсата температура конструкции должна быть ниже температуры воздуха на 6 °С. В пленках электролита, образовавшихся из конденсата, много минеральных веществ. Туманы и роса, вызывающие увлажнение металлических конструкций зданий, обычно имеют кислую реакцию ( $\text{pH} = 3 \dots 4$ ) в результате растворения в них хлористых, сернистых и других химически активных примесей. В определенных условиях влага на поверхности конструкции может конденсироваться из относительно сухой атмосферы. Это обусловлено явлениями капиллярной конденсации, когда поверхность загрязнена продуктами коррозии или другими веществами. Чистые и гладкие поверхности увлажняются только при адсорбции водяного пара влагой из нескольких молекулярных слоев. При заданном температурном перепаде и относительной влажности в зависимости от времени конденсации на поверхности конструкции может выпасть неодинаковое количество конденсата. При непродолжительной конденсации на поверхности появляются капельки влаги. Аналогичная картина наблюдается при длительной конденсации из относительно сухой воздушной среды.

На процесс коррозии металлических конструкций влияет не только количество сконденсированной влаги, но и характер ее распределения по поверхности. Отличительной чертой коррозионных повреждений, вызванных конденсационной влагой, по сравнению с другими видами коррозии, являются неравномерное распределение мест повреждений и язвенный характер.

При увлажнении поверхности металла образуются либо фазовые, либо адсорбционные пленки влаги. Фазовые пленки формируются при дожде, обливании или при влажности  $\approx 100$  %, адсорбционная пленка – вследствие конденсации влаги при влажности 60–70 %.

Атмосферная коррозия протекает преимущественно с кислородной деполяризацией. Ее принято классифицировать по толщине пленки влаги, образовавшейся на поверхности металла (рисунк 5.7).

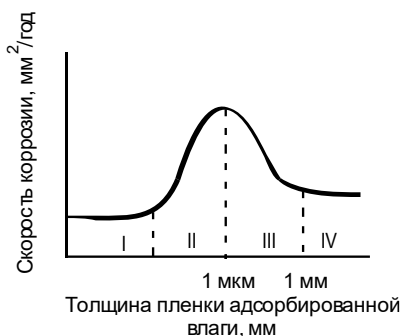


Рисунок 5.7 – Зависимость скорости коррозии от толщины пленки адсорбированной влаги

В области *сухой коррозии* (I) конденсации влаги на поверхности практически нет; коррозия протекает по химическому механизму. В области *влажной коррозии* (II) на поверхности металла присутствует адсорбционная пленка влаги; коррозия протекает с анодным торможением. Через тонкую пленку кислород проникает свободно, поэтому катодный процесс не затруднен. Анодный процесс тормозят продукты коррозии. В области *мокрой коррозии* (III) на поверхности металла присутствует фазовая пленка влаги. Здесь имеет

место катодное торможение, так как затруднен доступ кислорода к поверхности. Область IV является областью *полного погружения*.

Значительно влияет на скорость коррозии толщина пленки влаги. Наибольшие местные разрушения конструкций из металла отмечаются при конденсации влаги 2–3 г/дм<sup>2</sup>. При больших или меньших количествах влаги интенсивность коррозионного разрушения снижается. В толстых слоях электролита скорость коррозии обусловлена торможением катодных процессов из-за недостаточного доступа кислорода, в тонких слоях – вследствие затруднения анодного растворения металла. Следует иметь в виду, что высокие скорости конденсации или длительная ежесуточная конденсация влаги вызывают слияние отдельных мелких капель в более крупные, а затем – образование сплошной пленки. Однако не всегда интенсивность коррозии однозначно зависит от толщины пленки. Растворение в электролите сернистых газов, присутствующих в атмосфере, или хлоридов значительно увеличивает скорость коррозии. Установлено, что наличие в атмосфере 0,1 % диоксида серы SO<sub>2</sub> ускоряет процесс конденсационной коррозии в шесть раз по сравнению с коррозией в чистой атмосфере. При периодическом увлажнении конструкций атмосферным конденсатом, насыщенным парами раствора хлорида натрия, скорость коррозии больше в девять раз по сравнению с интенсивностью коррозионного разрушения в чистой атмосфере. При этом коррозионный процесс активизируется попеременным высушиванием и увлажнением конструкций во время эксплуатации.

Относительная влажность, соответствующая началу адсорбционной конденсации влаги, называется *критической влажностью*. Она зависит от природы металла, его состояния и от степени загрязнения воздуха.

В Беларуси наблюдается значительная продолжительность периода увлажнения (более 3000 ч/год), что способствует протеканию атмосферной коррозии. Скорость атмосферной коррозии зависит также от температуры, наличия загрязнений, поэтому она неодинакова в различных регионах.

Как уже отмечалось, в Беларуси наблюдается наибольшая продолжительность увлажнения поверхности металла в течение года, поэтому республика относится к числу наиболее опасных в коррозионном отношении стран СНГ. Глубина коррозии железа здесь достигает в сельских районах 43 мкм в год по сравнению с 9 мкм /год в Средней Азии и 13 мкм в Сибири. Максимум коррозионных потерь обычно приходится на осенний период.

Атмосферная коррозия ускоряется в присутствии некоторых газов ( $\text{SO}_2$ ), частичек солей ( $\text{NaCl}$ ). Однако это ускорение меньше, чем вызываемое климатическими факторами.

Стойкость металлов к атмосферной коррозии зависит от их природы и состояния поверхности. Средние значения глубинного показателя скорости коррозии для различных металлов изменяются от 4 до 200 мкм в год (для свинца – 4 мкм, алюминия – 8, олова – 12, меди – 12, никеля – 32, цинка – 50, железа – 200 мкм в год).

Ускорению коррозии способствуют шероховатость поверхности, наличие пыли и других загрязнений, факторы, облегчающие конденсацию влаги.

**5.6.2.6 Подземная коррозия металлических конструкций.** В грунтах находится большое количество металлоконструкций (трубопроводы, силовые кабели и кабели связи, опоры строительных конструкций и линий электропередачи, емкости и другое оборудование). Все они подвержены воздействию подземной коррозии. Ее определяющие факторы можно разделить на внутренние, зависящие от вида металла, его однородности и других параметров, и внешние, зависящие от характеристик воды и грунтов, окружающих сооружение: пористости, влажности, кислотности или щелочности, электропроводности, температуры и др.

Подземная коррозия вызывается неоднородностью окружающей среды и неравномерным доступом кислорода к различным участкам подземных конструкций. В большинстве случаев такая коррозия приводит к разрушению отдельных участков конструкции в виде глубоких язв. Причинами, обуславливающими неравномерный доступ кислорода к сравнительно малым участкам, могут быть разная плотность грунтов, нарушение на небольших участках сплошности изоляционного покрытия, неодинаковая влажность грунтов.

Для подземной коррозии характерно локальное разрушение металлов в виде питтинга, язв и раковин. Эмпирическое уравнение, связывающее

максимальную глубину раковины ( $P$ ) с временем эксплуатации трубопровода ( $\tau$ ), имеет следующий вид:

$$P = K\tau^n,$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности;

$n$  – константа, зависящая от степени аэрации почвы: в хорошо аэрируемых грунтах  $n = 0,1 \dots 0,2$  (песок, суглинок), в слабо аэрируемых (торф, тяжелые глины)  $n = 0,6 \dots 0,7$ .

На развитие подземной коррозии оказывают влияние различные факторы.

*Структура и состав грунтов.* Основными факторами, изменяющими скорость коррозии металлических конструкций, являются пористость и степень аэрации грунтов, т. е. проницаемость влаги и кислорода через почву.

В почвах, обладающих окислительными свойствами, т. е. большой аэрацией, весовые потери и глубина коррозии быстро уменьшаются во времени, достигая малых величин после относительно небольшого периода эксплуатации конструкций. Высокая аэрация грунтов обычно имеет место до горизонта грунтовых вод.

В слабо аэрируемых почвах интенсивность коррозии примерно пропорциональна длительности эксплуатации.

Типичной считается почвенная коррозия при участии кислорода воздуха. Участок, подвергающийся интенсивному воздействию кислорода, покрывается слоем окислов и становится катодом. Разрушение происходит там, где затруднен доступ кислорода. Больше всего подвержены коррозии участки конструкции с царапинами, раковинами, сварные швы и другие места, где концентрируются напряжения.

Коррозия под землей может протекать и без доступа кислорода воздуха в анаэробных условиях под действием некоторых видов бактерий, главным образом сульфатовосстанавливающих (подразд. 7.1).

Влияние аэрации на коррозию проявляется как на аноде, так и на катоде местного коррозионного элемента.

В слабо аэрируемых почвах кислород расходуется на деполяризацию катодных участков. Из-за недостатка кислорода в почве ионы двухвалентного железа, переходящие с анодных участков в почву, оказывают слабое влияние на скорость коррозионного процесса. Однако в почвах, где содержание кислорода больше того количества, которое требуется для катодной деполяризации, ионы двухвалентного железа окисляются, осаждаются вблизи местных анодов, прекращают дальнейший переход и диффузию ионов двухвалентного железа.

Если бы грунты вокруг сооружений были однородны по составу, влажности, аэрации и другим показателям, то на отдельных участках сооружений не возникла бы разность электродных потенциалов. В действительности же грунты неоднородны, также неоднороден и металл



конструкции, а поэтому между отдельными участками поверхности металлических подземных сооружений образуется разность электродных потенциалов, которая и служит одной из главных причин коррозии металлов, так как делит их на анодные и катодные участки (рисунок 5.8).

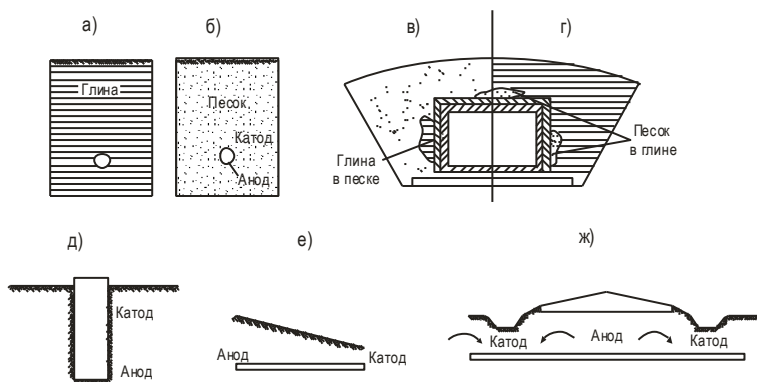


Рисунок 5.8 – Примеры почвенной коррозии как результата совместной деятельности микро- и макрокоррозионных пар

Следует подчеркнуть, что скорость коррозии стальных подземных конструкций зависит от состава металла, а также от характера грунтовой среды.

В песках воздухообмен лучше, чем в глинах; к верхним частям конструкций доступ воздуха больше, чем к заглубленным: часть поверхности, получающая больше кислорода, становится катодом, а менее доступная кислороду – анодом и разрушается. Именно образованием макропор по длине и глубине сооружения объясняется значительная коррозия нижней части заглубленных трубопроводов, в местах перехода их из глины в песок, под холмами и т. п. (см. рисунок 5.8). При этом анодные участки и разрушения возникают там, где меньше доступ кислорода.

Наиболее опасные анодные участки образуются под включением почвы с меньшей кислородной проницаемостью, чем под основной массой грунта, а потому нежелательно наличие комков глины при обратной засыпке траншей песком, так как при этом образуются опасные локальные анодные участки.

Почвенная коррозия представляет в общем случае результат макро- и микрокоррозионных процессов: микропары обуславливают равномерную коррозию и тем большую, чем больше аэрация; макрокоррозионные пары имеют явно выраженный местный характер и на участках с меньшей аэрацией.

Наиболее агрессивными грунтами из-за деятельности микроэлементов являются песчаные и лёссовые, а менее агрессивными – глинистые из-за сильного торможения катодных процессов вследствие малого проникания кислорода. Скорость коррозии в глине в пять – семь раз ниже, чем в песчаных грунтах. Однако при высыхании глин, образовании трещин и усилении дифференциальной аэрации скорость местной коррозии в глинах возрастает.

Таким образом, коррозионную активность грунтов определяет, кроме структуры, множество других факторов. В частности, в слабо аэрируемых грунтах (глинах) коррозия протекает более равномерно, чем в хорошо доступных кислороду (песках и обломочных породах), где поэтому анодные участки могут быть малыми, а коррозия – стать более опасной – язвенной. Среда лёссовых грунтов агрессивна по отношению к металлам в связи с высокой пористостью, наличием и неравномерным распределением карбонатов и сульфатов. Их коррозионная активность нередко выше, чем песчаных грунтов.

*Влага и температура.* Процесс коррозии подземных металлических конструкций начинается только при наличии в грунте влаги. Любые грунты даже в пустынных районах содержат некоторое количество влаги, достаточное для возникновения коррозии.

Коррозия металла в грунте при разной его влажности протекает по-разному. Слабая коррозия при малой влажности почвы объясняется малой скоростью диффузии ионов у анода – поляризацией. Увеличение влажности обеспечивает повышение скорости движения ионов и приводит к прекращению поляризации анода, т. е. развитию коррозии. Однако при избыточном содержании влаги в почве прекращается доступ кислорода к металлу, и коррозия затухает. При большом количестве влаги снижается концентрация почвенного раствора, что также приводит к менее активному его взаимодействию с металлом и замедляет коррозию.

Как видно из графиков на рисунке 5.9, наиболее интенсивная коррозия происходит при сравнительно небольшой весовой влажности, примерно от 10 до 20 %, причем эти границы для разных грунтов различны.

При дальнейшем повышении влажности скорость коррозии замедляется. Наступает такое насыщение грунта водой, при котором она образует сплошной слой, затрудняющий доступ кислорода к металлу.

а)

б)

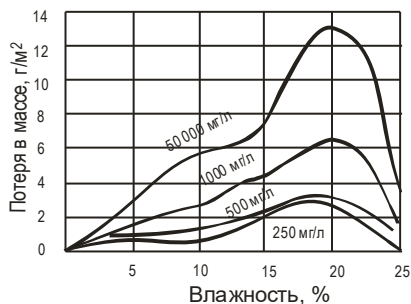


Рисунок 5.9 – Интенсивность коррозии в различных грунтах в зависимости от влажности (а) и концентрации солей в электролите (б)

Влажность грунтов меняется по трассе (длине) сооружения в зависимости от характера грунтов, растительности, и это создает коррозионные макропары. Влажность грунтов зависит также от температуры сооружения: при более низкой температуре влага подсасывается к ним и конденсируется, а при более высокой, наоборот, влажность окружающего грунта уменьшается. Изменения влажности грунта во времени, при которых наиболее полно проявляется воздействие на коррозию как влаги, так и кислорода воздуха, создают наиболее благоприятные условия для активной коррозии. Постоянные колебания температуры грунта по вертикали передаются на конструкции, заглубленные в грунт. В свою очередь, разные температуры грунта и воздуха по глубине способствуют движению влаги: насыщенный парами почвенный воздух перемещается в зоне аэрации из более нагретого слоя к менее нагретому, где влага конденсируется на поверхности конструкции (сооружения).

Различия в температуре отдельных частей сооружения приводят к возникновению на отдельных его участках термогальванических макропар разных потенциалов и образованию анодных и катодных участков, а колебания влажности и доступ кислорода еще в большей степени влияют на почвенную коррозию. Замерзание грунта и влаги в нем тормозит коррозию; вместе с тем при замерзании влаги в защитных покрытиях конструкций последние разрушаются, и при оттаивании грунта коррозия усиливается.

Интенсивная коррозия возможна при самом различном составе и концентрации водорастворимых солей (см. рисунок 5.9). Основным показателем электролита является его электропроводность: чем она больше, тем выше коррозионная активность. Электропроводность обычно повышается с увеличением концентрации электролита.

Разная степень коррозии в одинаковых по солевому составу почвах объясняется влиянием многочисленных факторов, нередко взаимно нейтрализующих влияние одних и усиливающих влияние других. Так,

например, на участках с повышенной засоленностью иногда оказывает влияние на коррозию не состав солей, а способность их удерживать влагу, которая не допускает к конструкции кислород воздуха, что сказывается на деполяризации, и коррозия замедляется.

**Кислотность и щелочность грунтов.** Коррозия в зависимости от водородного показателя (pH) грунтов (рисунок 5.10) рассматривается прежде всего в связи со стойкостью окисных пленок на поверхности металла при воздействии на него окружающей среды.

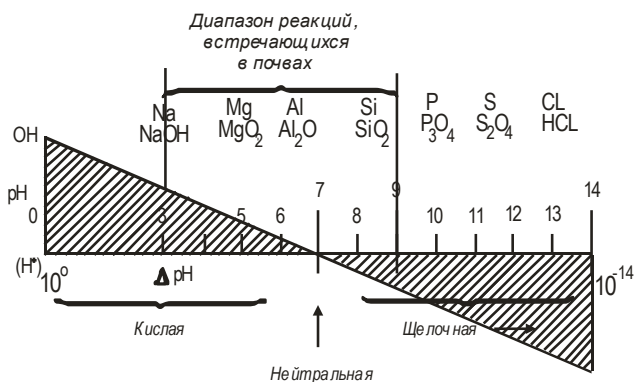


Рисунок 5.10 – Характеристика (pH) грунтовых вод и интенсивность коррозии металлов

В этом отношении все металлы делятся на *три группы* (рисунок 5.11).

Первую группу составляют благородные металлы – платина, серебро, золото. Скорость их коррозии чрезвычайно мала и не зависит от pH.

Ко второй группе относятся металлы, окислы которых растворяются как в кислой, так и в щелочной среде; к ним относятся Al, Zn, Cu. Для этих металлов благоприятна лишь нейтральная среда.

В третью группу входят металлы, окислы которых растворимы только в кислой среде; к ним относятся такие металлы, как Fe, Ni, Ca, Mg. Для этих металлов благоприятна только щелочная среда. Увеличение скорости коррозии в кислых средах объясняется ускорением водородной деполяризации при одновременной кислородной деполяризации. Выходящий пузырьками водород перемешивает раствор, уменьшает толщину диффузионного слоя и усиливает восстановление кислорода.

Большое значение для определения коррозионной активности грунта имеет его кислотность. Кислые грунты ( $\text{pH} < 3$ ) вызывают сильную коррозию подземных металлоконструкций. Установлены значения водородного показателя  $\text{pH}$ , при которых коррозионная активность грунтов для некоторых металлов будет наименьшей: железо – 10–14; алюминий – 6–6,5; свинец – 7–8; цинк – 11–11,5; олово – 10–11.

Повышение температуры железа меняет характер коррозии в зависимости от  $\text{pH}$ . При повышении температуры от 60 до 80 °С скорость коррозии возрастает и железо корродирует как в кислотной, так и в щелочной среде. При высокой температуре коррозия снижается в связи с уменьшением содержания  $\text{O}_2$  в воде.

Глины чаще всего имеют щелочную реакцию, у каолинитов  $\text{pH}$  близко к 7, у лёссовых пород – 7,0–8,4.

**Электропроводность грунтов.** По электропроводности или по обратной величине – электрическому сопротивлению грунта можно с достаточной достоверностью судить о его коррозионной активности. При этом соединяется воедино ряд таких важнейших в почвенной коррозии факторов, как влажность, наличие солей, величина водородного показателя  $\text{pH}$ .

Электропроводность грунта является важным показателем почвенной коррозии: при низкой электропроводности коррозия замедляется, а при разрыве электрической цепи совсем прекращается, и, наоборот, при высокой электропроводности грунтов коррозия усиливается.

Коррозионная агрессивность грунтов коррелирует с их электрическим сопротивлением (таблица 5.27).

Таблица 5.27 – Оценка коррозионной агрессивности грунта

Удельное сопротивление грунта, Ом•м	<5	5–10	10–20	20–100	>100
Агрессивность грунта	Особо высокая	Высокая	Повышенная	Средняя	Низкая

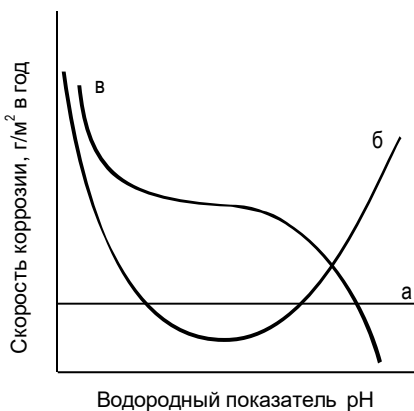


Рисунок 5.11 – Зависимость скорости коррозии металлов от показателя  $\text{pH}$ : а – Pt, Ag, Au; б – Zn, Al, Pb; в – Mg, Mn, Fe, Cu, Ni, Cr

**5.6.2.7 Коррозия, вызываемая блуждающими токами.** Коррозия, вызванная блуждающими токами, – это электрохимическая коррозия

металла, обусловленная действием блуждающих токов. Основными источниками блуждающих токов в земле являются электрифицированные железные дороги, трамвай, метрополитен, шахтный электротранспорт, линии электропередачи постоянного тока по системе провод – земля. На электрифицированных железных дорогах, работающих на постоянном токе, в зависимости от назначения применяют напряжение 3000–3400 В, в метрополитене – 800, для трамвайных путей – 600 В.

Схема работы электрифицированного рельсового транспорта может быть описана следующим образом. Тяговая подстанция получает трехфазный ток от энергосистемы и осуществляет преобразование его в постоянный ток. От подстанции через питающую линию тяговый ток поступает в контактный провод, из которого через токоприемник – в мотор-вагон, где с помощью пускорегулирующей аппаратуры подводится к тяговым электродвигателям. Пройдя тяговые двигатели, ток возвращается через колеса электровоза, рельсы и отсасывающую линию на подстанцию. Так как рельсовый путь не изолирован от земли, он оказывается шунтирующим проводником, по которому проходит часть тягового тока. Ток, ответвляющийся от рельсов в землю, называют *блуждающим*.

Растекаясь в земле и встречая на своем пути металлические трубопроводы, удельное сопротивление которых намного меньше удельного сопротивления земли, блуждающие токи натекают на них (катодная зона). Блуждающие токи, проникшие в трубопровод, стекают с него в зоне, близкой к отсасывающему пункту (анодная зона), в землю и через нее поступают в рельсы в районе присоединения отсасывающей линии к рельсам и далее – по отсасывающей линии – на подстанцию. При перемещении мотор-вагона по участку диаграмма распределения потенциалов как в рельсах, так и в земле и подземном сооружении изменяется. В общем случае на трубопроводах, расположенных в зоне влияния токов утечки электрифицированных железных дорог, работающих на постоянном токе, можно выделить три характерные зоны: анодную, знакопеременную и катодную. В анодной и катодной зонах разность потенциалов между трубопроводом и землей изменяется во времени по величине, но остается стабильной по знаку. В знакопеременной зоне разность потенциалов изменяется во времени как по величине, так и по знаку.

Коррозионные процессы, обусловленные блуждающими токами, накладываются на процессы, обусловленные почвенной коррозией. Совпадение анодных зон коррозионных пар и блуждающих токов ведет к усилению коррозии. Коррозия подземного сооружения зависит от соотношения интенсивности почвенной коррозии и коррозии, вызванной блуждающими токами. Особенность коррозии, вызванной блуждающими

токами, заключается в том, что ее скорость практически не ограничена скоростью доставки кислорода, как при почвенной коррозии.

Сила блуждающего тока определяется не доставкой кислорода к катодной поверхности, а переходными сопротивлениями в системе рельс – земля – подземное сооружение. Решающее значение имеет не сила блуждающего тока, а его плотность в анодной зоне подземного сооружения. Дополнительное коррозионное разрушение под действием блуждающего тока становится заметным, когда его плотность достигает уровня скорости почвенной коррозии, выраженной в единицах плотности тока. Однако плотность блуждающего тока в анодной зоне очень часто в десятки и более раз выше, чем скорость почвенной коррозии. В этих случаях скоростью последней вообще можно пренебречь и относить все коррозионное разрушение на счет блуждающего тока.

В соответствии с законом Фарадея потери от электрохимической коррозии для железа составляют 9,1 кг/А в год. Таким образом, при плотности тока 1 А/м<sup>2</sup> (0,1 мА/см<sup>2</sup>) скорость коррозии равна 9,1 : 7,86 = 1,1 мм/А в год.

На трубопроводы могут натекать токи силой в сотни ампер; при наличии покрытия на сооружении они могут стекать лишь с мест повреждений в покрытии. Поэтому плотности стекающих токов в отдельных случаях очень велики. На практике встречаются случаи, когда в анодных зонах действия блуждающих токов сквозные отверстия в стенках труб образуются через несколько месяцев после прокладки трубопроводов. Необходимо иметь в виду, что это происходит только в том случае, если анодный блуждающий ток не приводит к пассивации металла. Если наступает пассивация, то потенциал металла смещается в область выделения кислорода. В этом случае блуждающие токи в значительной степени расходуются на выделение кислорода и только некоторая их часть – на разрушение металла.

Блуждающие токи разрушают не только металлоконструкции, но и арматуру железобетонных конструкций, контактирующих с грунтовой средой.

В реальных условиях протекания процесса электрохимической коррозии стальных трубопроводов в анодных зонах основными факторами, определяющими потери металла, являются параметры наложенного тока.

Если внешним источником тока является рельсовая сеть городского или магистрального электрифицированного железнодорожного транспорта, работающего на постоянном токе, то распределение потенциалов и токов в земле и на подземном трубопроводе имеет специфический характер. Тяговые нагрузки характеризуются, с одной стороны, непрерывным изменением точек приложения к контактной и рельсовой сетям, с другой – постоянным изменением этих нагрузок в широких пределах по величине и даже по направлению. Действительно,

сила тока, потребляемого двигателями подвижного состава, зависит от скорости поезда, профиля пути, состояния рельсов и многих других причин и изменяется от максимальных значений до нуля. При рекуперативном торможении изменяется и направление тока. Наряду с непрерывным изменением нагрузок по величине происходит их непрерывное перемещение вдоль линии в разных направлениях с изменяющейся скоростью.

Изменение во времени точек приложения нагрузок и их величин на рельсовой сети обуславливает переменный характер токов, проходящих по элементам тяговой сети, а следовательно, и вызываемых этими токами падений напряжения и токов утечки с рельсов. Необходимо также учитывать, что рельсовые сети (особенно в условиях городов) имеют сложную конфигурацию, образуя систему замкнутых и взаимосвязанных контуров, соединенных с соответствующими подстанциями с помощью параллельно работающих отсасывающих кабелей. Не менее сложна конфигурация сетей подземных металлических коммуникаций в районе действия блуждающих токов. Все это обуславливает сложность анализа процессов в системе рельс – земля – подземное сооружение.

**5.6.2.8 Коррозия трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения.** По-особому протекает коррозия металлических конструкций, изготовленных из разных металлов. При эксплуатации систем отопления и водоснабжения встречаются случаи, когда с водой (электролитом) соприкасаются одновременно сталь и сплавы меди. Два металла и раствор (в отопительной и питьевой воде всегда имеется незначительное количество растворенных веществ) создают гальванический элемент, один электрод которого – железо, другой – медь:

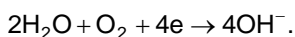
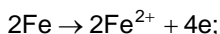
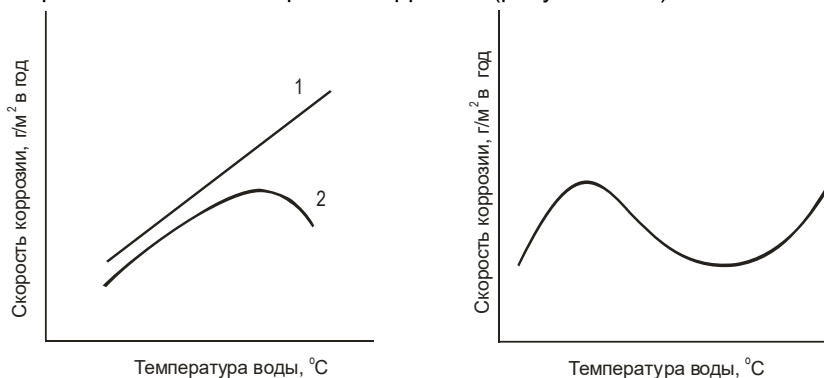




Рисунок 5.12 – Зависимость скорости коррозии от концентрации кислорода

При образовании локального элемента атомы железа, становясь ионами  $Fe^{2+}$ , переходят в раствор под действием притяжения молекул воды – диполей, при этом образовавшийся на поверхности медных элементов гидроксил отбирает свободные электроны.

Коррозия большинства металлов в растворах солей протекает с кислородной деполяризацией. В этих случаях от количества кислорода в электролите зависит скорость коррозии (рисунок 5.12). Значительное



увеличение концентрации кислорода в воде приводит к образованию труднорастворимых оксидов на поверхности металлоконструкций и замедлению коррозии. С повышением температуры электролита скорость коррозии возрастает (рисунок 5.13). Для открытых систем (вследствие понижения концентрации кислорода с повышением температуры) скорость коррозии падает.

При температуре свыше 70 °С потенциал цинка повышается, а потенциал железа почти не изменяется. Поэтому в гальванической паре цинк – железо в горячей воде цинк становится по отношению к железу катодом и ускоряет его разрушение. С увеличением скорости движения электролита интенсивность коррозии увеличивается в связи с усилением доставки кислорода (рисунок 5.14).

Рисунок 5.13 – Зависимость скорости коррозии металла труб от температуры воды в системах: 1 – открытых; 2 – закрытых

Рисунок 5.14 – Зависимость скорости коррозии от скорости движения воды в трубопроводе

Затем процесс коррозии начинает замедляться в связи с образованием защитных пленок на поверхности конструкции. При дальнейшем увеличении скорости электролита может произойти механическое повреждение защитных пленок, что вызовет усиление коррозионного разрушения.

Кроме коррозии трубопроводов, вызванной наличием в конструкции элементов из разных металлов, коррозионные процессы трубопроводов могут быть следствием неравномерной скорости воды, транспортируемой по трубам, на различных участках системы. Участки трубопровода, по которым вода течет с меньшей скоростью, становятся анодами и разрушаются.

В большинстве случаев определяющим фактором в процессах коррозии трубопроводов является жесткость воды. Временную жесткость воды вызывают гидрокарбонаты кальция и магния, которые под действием диоксида углерода образуются из нерастворимых карбонатов кальция и магния, а при уменьшении содержания диоксида углерода на стенках трубопровода выпадает накипь вследствие протекания обратной реакции. Поскольку карбонаты кальция и магния не проводят электрический ток, образовавшаяся накипь будет защищать трубопровод от дальнейшей коррозии.

Защитная пленка магнезита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  сильно замедляет коррозию. При правильной водоподготовке такую пленку можно сохранять длительное время.

При наличии достаточного количества кислорода вместо защитного оксида трехвалентного железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  образуется оксид двухвалентного железа, представляющий собой рыхлую пленку, которая разрушается и вызывает местную коррозию трубопровода. При наличии в трубопроводах остаточных напряжений, возникающих при заготовке элементов систем отопления или водоснабжения в процессе гнутья, сварки, нарезки резьбы и др., на участках металла, подверженных небольшим напряжениям, появляются коррозионные поражения, наиболее часто – в виде трещин.

Образование застойных зон или зон с пониженной скоростью движения воды увеличивает возможность возникновения коррозии вследствие создания макропор неравномерной аэрации. Такие зоны могут возникнуть вследствие неправильной сварки трубопровода. При содержании в воде достаточного количества гидроксида натрия целостность защитной пленки магнезита также нарушится вследствие образования растворимого соединения  $\text{Na}_2\text{FeO}_2$ . Состав отопительной и водопроводной воды может меняться от умягченной до обычной водопроводной, имеющей как кислотную, так и щелочную реакцию.

Избыточное количество диоксида углерода в воде может привести к разрушению карбонатных защитных пленок вследствие образования растворимых дикарбонатов кальция или магния, что вызовет местное оголение поверхности трубопровода и усиление коррозии металла.

### 5.6.3 Железобетонные конструкции

Железобетонные конструкции постоянно подвергаются воздействию внешней среды, в результате которого возникает коррозия материала. По характеру воздействий различают химическую, электрохимическую и механическую коррозии. Следует отметить, что граница между химической и электрохимической коррозией часто бывает условной и зависит от многих параметров окружающей среды.

При химической коррозии происходит непосредственное химическое взаимодействие между материалами конструкции и агрессивной средой, не сопровождающееся возникновением электрического тока. Химическая коррозия может быть *газовой и жидкой*, однако в обоих случаях отсутствуют электролиты.

При электрохимической коррозии коррозионные процессы протекают в водных растворах электролитов, во влажных газах, в расплавленных солях и щелочах. Характерным является возникновение электрических токов как результата коррозионного процесса, при этом в арматуре и закладных деталях одновременно протекают окислительный и восстановительный процессы.

Механическая коррозия (деструкция) имеет место в материалах неорганического происхождения (цементный камень, растворная составляющая бетона, заполнитель) и вызывается напряжениями внутри материала, достигающими предела его прочности на растяжение.

Внутренние напряжения в пористой структуре материала возникают вследствие разных причин, среди которых кристаллизация солей, отложение продуктов коррозии, давление льда при замерзании воды в порах и капиллярах. В композиционных материалах, характерным представителем которых является бетон, внутренние напряжения в зоне контакта заполнитель – цементный камень возникают при резких сменах температур в результате разных коэффициентов линейно-температурного расширения.

Степень агрессивного воздействия газообразных и твердых сред на конструкции из бетона и железобетона приведены, соответственно, в таблицах 5.28 и 5.29.

**Таблица 5.28 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона газообразных сред**

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43	Группа газов	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразных сред на конструкции
---	--------------	---

Район (подрайон) влажности по СНБ 2.04.02	по таблице 5.24	бетона		железобетона	
Сухой	A	XA0	XA0	XA0	XA0
Нормально-сухой	B	XA0	XA0	XA0	XA0
	C	XA0	XA0	XA1	XA1
	D	XA0	XA0	XA1	XA2
Нормальный	A	XA0	XA0	XA0	XA0
Нормально-влажный	B	XA0	XA0	XA1	XA1
	C	XA0	XA0	XA2	XA2
	D	XA1	XA0	XA2	XA3
Влажный или мокрый	A	XA0	XA0	XA1	XA1
Влажный	B	XA0	XA0	XA2	XA2
	C	XA1	XA1	XA3	XA3
	D	XA2	XA2	XA3	XA3
Влажный или мокрый (для биосферы)	A	XA0	XA0	XA1	XA1
Влажный	B	XA1	XA1	XA2	XA2
	C	XA2	XA2	XA3	XA3
	D	XA3	XA3	XA3	XA3
<b>Примечания</b>					
1 Для конструкций отапливаемых зданий, на поверхности которых допускается образование конденсата, класс среды по условиям эксплуатации устанавливается как для конструкций с влажным режимом помещений.					
2 Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, класс среды по условиям эксплуатации принимается как для нормального района влажности.					
3 При наличии в газообразной среде нескольких агрессивных газов класс среды по условиям эксплуатации определяется по наиболее агрессивному газу.					

В таблицах 5.30 и 5.31 приведены, соответственно, классы среды по условиям эксплуатации для арматуры железобетонных конструкций при воздействии жидких неорганических сред, содержащих хлориды и при воздействии на конструкции из бетона и железобетона жидких неорганических сред.

**Таблица 5.29 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона твердых сред**

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43	Растворимость твердых сред в воде <sup>1)</sup> и их гигроскопичность	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии твердых сред на конструкции	
		бетона	железобетона
Сухой	Хорошо растворимые малогигроскопичные	XA0	XA1
Нормально-сухой		XA1	XA2
Нормальный	Хорошо растворимые малогигроскопичные	XA1	XA1
Нормально-влажный		XA1	XA2 <sup>2)</sup>
Влажный или мокрый	Хорошо растворимые малогигроскопичные	XA1	XA2 <sup>3)</sup>
Влажный		XA2 <sup>2)</sup>	XA3

<sup>1)</sup> Перечень наиболее распространенных растворимых солей и их характеристики приведены в таблице 5.15. Агрессивными солями по отношению к бетону и железобетону являются хлориды, сульфаты и нитраты. Присутствие малорастворимых веществ не влияет на агрессивность.

<sup>2)</sup> Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, класс среды по условиям эксплуатации принимается как для нормального района влажности.

<sup>3)</sup> Соли, содержащие хлориды, следует относить к классу ХА3.

**Таблица 5.30 – Классы среды по условиям эксплуатации для арматуры железобетонных конструкций при воздействии жидких неорганических сред, содержащих хлориды**

Содержание хлоридов в пересчете на Cl <sup>-</sup> , мг/л	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии жидкой неорганической среды на арматуру железобетонных конструкций:	
	при постоянном погружении	при периодическом смачивании
До 500 включ.	ХА0	ХА1
Св. 500 до 5000 включ.	ХА0	ХА2
Св. 5000	ХА1	ХА3

*Примечания*

1 Понятие периодического смачивания включает любое непостоянное увлажнение жидкой средой, а также зоны переменного горизонта жидкой среды и капиллярного подсоса.

2 При одновременном содержании в жидкой среде сульфатов и хлоридов количество сульфатов пересчитывается на содержание хлоридов умножением на 0,25 и суммируется с содержанием хлоридов.

А в таблице 5.32 представлены классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона жидких органических сред.

Таблица 5.31 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона жидких неорганических сред

Показатель агрессивности	Показатель агрессивности жидкой среды <sup>1)</sup> для сооружений, расположенных в грунтах с $K_f$ св. 0,1 м/сут. в открытом водоеме и для напорных сооружений при марке бетона по водонепроницаемости		Классы среды по условиям эксплуатации
	W4	W8	
Бикарбонатная щелочность, ммоль/л	Св. 0 до 1,05 включ.	—	XA1
Водородный показатель pH	Св. 5,0 до 6,5 включ.	Св. 4,0 до 5,0 включ.	XA1
	Св. 4,0 до 5,0 включ.	Св. 3,5 до 4,0 включ.	XA2
	Св. 0,0 до 4,0 включ.	Св. 0,0 до 3,5 включ.	XA3
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л <sup>2)</sup>	Св. 10 до 40 включ.	Св. 40	XA1
	Св. 40	—	XA2
Содержание магnezия, мг/л, в пересчете на ион Mg <sup>2+</sup>	Св. 1000 до 2000 включ.	Св. 2000 до 3000 включ.	XA1
	Св. 2000 до 3000 включ.	Св. 3000 до 4000 включ.	XA2
	Св. 3000	Св. 4000	XA3
Содержание аммонийных солей, мг/л, в пересчете на ион NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Св. 100 до 500 включ.	Св. 500 до 800 включ.	XA1
	Св. 500 до 800 включ.	Св. 800 до 1000 включ.	XA2
	Св. 800	Св. 1000	XA3
Содержание едких щелочей, мг/л, в пересчете на ионы Na <sup>+</sup> и K <sup>+</sup>	Св. 50 000 до 60 000 включ.	Св. 60 000 до 80 000 включ.	XA1
	Св. 60 000 до 80 000 включ.	Св. 80 000 до 100 000 включ.	XA2
	Св. 80 000	Св. 100 000	XA3
Суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и др. солей, мг/л, при наличии испаряющихся поверхностей	Св. 10 000 до 20 000 включ.	Св. 20 000 до 50 000 включ.	XA1
	Св. 20 000 до 50 000 включ.	Св. 50 000 до 60 000 включ.	XA2
	Св. 50 000	Св. 60 000	XA3

<sup>1)</sup> При оценке класса среды по условиям эксплуатации для элементов конструкций, расположенных в слабофильтрующих грунтах с  $K_f$  менее 0,1 м/сут. значения показателей таблицы должны быть умножены на 1,3.

<sup>2)</sup> При превышении значений показателей агрессивности, указанных в таблице, класс среды по условиям эксплуатации по данному показателю не возрастает.

**Таблица 5.32 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона жидких органических сред**

Среда	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии жидких органических сред на бетон при марке по водонепроницаемости		
	W4	W6	W8 – W10
Масла: минеральные растительные животные	XA1 XA2 XA2	XA1 XA2 XA2	XA0 XA1 XA1
Нефть и нефтепродукты: сырая нефть* сернистая нефть сернистый мазут* дизельное топливо* керосин* бензин	XA2 XA2 XA2 XA1 XA1 XA0	XA2 XA1 XA1 XA1 XA1 XA0	XA1 XA1 XA1 XA0 XA0 XA0
Растворители: предельные углеводороды (гептан, октан, декан и т. д.)	XA0	XA0	XA0
ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилол, хлорбензол и т. д.)	XA1	XA0	XA0
кетоны (ацетон, метилэтилкетон, диэтилкетон и т. д.)	XA1	XA1	XA0
Кислоты: водные растворы кислот (уксусная, лимонная, молочная и т. д.) концентрацией св. 0,05 г/л	XA3	XA3	XA3
жирные водонерастворимые кислоты (каприловая, капроновая и т. д.)	XA3	XA2	XA2
Спирты: одноатомные многоатомные	XA1 XA2	XA0 XA2	XA0 XA1
Мономеры: хлорбутадиен стирол	XA3 XA1	XA3 XA1	XA2 XA0
Амиды: карбамид (водные растворы с концентрацией от 50 до 150 г/л)	XA1	XA1	XA0
то же, св. 150 г/л	XA2	XA2	XA1
Дициандиаמיד (водные растворы с концентрацией			

до 10 г/л)	XA1	XA1	XA1
------------	-----	-----	-----

Окончание таблицы 5.32

Среда	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии жидких органических сред на бетон при марке по водонепроницаемости		
	W4	W6	W8 – W10
Диметилформамид (водные растворы с концентрацией от 20 до 50 г/л)	XA2	XA1	XA1
то же, св. 50 г/л	XA3	XA2	XA2
Прочие органические вещества: фенол (водные растворы с концентрацией до 10 г/л)	XA2	XA2	XA2
формальдегид (водные растворы с концентрацией от 20 до 50 г/л)	XA1	XA1	XA0
то же, св. 50 г/л	XA2	XA2	XA1
дихлорбутен	XA2	XA2	XA1
тетрагидрофуран	XA2	XA1	XA1
сахар (водные растворы с концентрацией св. 0,1 г/л)	XA1	XA1	XA0

Длительная служба железобетонных конструкций в условиях агрессивных воздействий природных и техногенных сред обеспечивается коррозионной устойчивостью как бетона, так и стальной арматуры.

Арматура номинально считается защищенной слоем бетона. Однако в силу его проницаемости может быть доступна воздействию окружающей среды. Кроме того, бетон в ряде конкретных сочетаний вяжущих, добавок и технологии сам может вместо защиты способствовать развитию коррозии стальной арматуры.

Поскольку железобетон является композиционным материалом, разрушение железобетонных конструкций может быть результатом коррозии как бетона, так и арматуры. В первом случае окружающая среда агрессивна по отношению к бетону, а потому он разрушается; при этом обнажается и разрушается арматура. Если же окружающая среда неагрессивна к бетону, но агрессивна к арматуре, то, проникая через поры и трещины защитного слоя к арматуре, она вызывает ее коррозию.

**5.6.3.1 Коррозия бетона.** Различаются три вида физико-химической коррозии бетона.

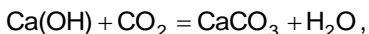


**Коррозия I вида.** Коррозия этого вида вызывается фильтрацией сквозь толщу бетона мягкой воды, вымывающей его составные части, в частности гидрат окиси кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – гашеную известь. Этот процесс называется выщелачиванием извести и весьма опасен для бетона, поскольку известь является составляющей почти всех цементов. Так, по химическому составу портландцемент содержит 64–68 % извести, 21– 24 % кремнезема, 4–7 % глинозема, по 1–3 % окиси железа, магнезия.

Минералогический состав цемента следующий: трехкальциевый силикат ( $\text{Ca}_3\text{Si}$ ) – 70–20 %, двухкальциевый силикат ( $\text{Ca}_2\text{Si}$ ) – 10–60 %, трехкальциевый алюминат ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2$ ) – 4–15 %, четырехкальциевый алюмоферрит ( $\text{Ca}_4\text{AlFe}$ ) – 6–16 %.

Под действием воды на бетон перечисленные минералы подвергаются гидролитическому разложению; это объясняется тем, что некоторые минералы устойчивы только в воде, содержащей определенное количество извести. По мере выщелачивания извести ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – гашеной извести) и снижения количества окиси кальция ( $\text{CaO}$  – негашеной извести) в растворе, соприкасающемся с цементным камнем, происходит разрушение других гидратов – гидросиликатов, гидроалюминатов, гидроферритов, так как стабильное их существование возможно лишь в растворах гидрата окиси кальция определенной концентрации.

Внешним признаком коррозии I вида служит белый налет на поверхности конструкции в месте выхода воды, что и послужило основанием назвать данный вид коррозии «белой смертью» бетона. Налет – это результат выпадения в осадок растворенных в бетоне солей, в частности гидрата окиси кальция и карбоната кальция. При этом гидрат окиси кальция под влиянием углекислого газа воздуха превращается в карбонат кальция:



являющийся стойким соединением, благодаря чему налет предохраняется от разрушения при последующем увлажнении.

Если приток воды очень мал, и она испаряется на поверхности бетона, то гидрат окиси кальция остается в толще бетона, уплотняет его и прекращает фильтрацию; этот процесс называется самозалечиванием бетона.

Если в воде содержатся соли (кроме солей кальция), которые непосредственно не взаимодействуют с составляющими цементного камня, но повышают ионную силу раствора ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и др.), то они увеличивают растворимость цементного камня, усиливая тем самым процесс коррозии. Так, например, если растворимость в

дистиллированной воде принять за единицу, то в 2%-ном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  она равна 2,32, а в 4%-ном  $\text{NaCl}$  – 1,41.

Основным показателем процесса коррозии I вида является скорость растворения гидрата окиси кальция. Растворение происходит при концентрации окиси кальция, близкой к концентрации насыщенного раствора. При малых скоростях фильтрации разрушение бетона прямо пропорционально скорости течения и выщелачивания извести. По мере увеличения скорости течения воды скорость разрушения замедляется. При больших скоростях фильтрации воды интенсивность выщелачивания зависит от скорости диффузии ее из пристенного слоя фильтрата в основную его массу и, естественно, уменьшается.

По мере выщелачивания извести из бетона его механическая прочность снижается; при этом первоначальная потеря извести сказывается на прочности меньше, чем последующая. Выщелачивание первых 16 % извести приводит к потере 20 % прочности, а последующих 14 % – уже 50 % прочности. Полное разрушение конструкций наступает при выщелачивании извести более 35–50 %.

Оценивая устойчивость бетонов к коррозии I вида, следует отметить, что главными факторами, противостоящими ей, являются плотность бетона и характеристика цемента (в частности, минимальное количество извести в нем).

Стойкость различных цементов к выщелачиванию оценивается по наличию в них извести и различных добавок. По этим признакам менее стойким в условиях коррозии I вида считается портландцемент; более плотными и стойкими (при длительном созревании в теплой и влажной среде) являются пуццолановый портландцемент и шлакопортландцемент с гидравлическими добавками, повышающими плотность бетона вследствие связывания свободной извести. Будучи более водостойкими (с плотным цементным камнем), бетоны на таких цементах используются для подземных частей сооружений при отсутствии агрессивных вод.

Глиноземистый цемент, как не содержащий гидроокиси кальция, также более стоек. Правда, фильтрующая вода растворяет глинозем, и прочность бетона на таком цементе снижается. Однако при гидратации глиноземистого цемента образуются двухкальциевый гидроалюминат и гидрат глинозема, заполняющие пустоты и повышающие плотность бетона, снижая тем самым коррозию I вида.

Песчано-пуццолановый и песчаный портландцементы менее устойчивы, чем портландцемент, так как они содержат малоактивную добавку песка.

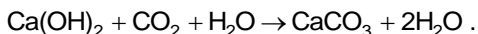
Таким образом, коррозия I вида – это выщелачивание бетона.

**Коррозия II вида.** Характерным для коррозии II вида является химическое разрушение компонентов бетона (цементного камня и заполнителей) под воздействием кислот и щелочей.

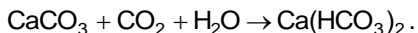
Кислотная коррозия цементного камня обусловлена химическим взаимодействием гидрата окиси кальция с кислотами.

Основными показателями агрессивности кислот по отношению к бетонным конструкциям являются водородный показатель, а также их окислительные свойства и температура. Интенсивность разрушения кислотами зависит также от растворимости продуктов коррозии при их взаимодействии с материалом бетонных конструкций.

Наиболее часто кислотная коррозия бетонных и железобетонных конструкций сопровождается действием на бетон растворов диоксида углерода. При этом сначала идет реакция между гидроксидом кальция и диоксидом углерода с образованием малорастворимого в воде карбоната кальция:

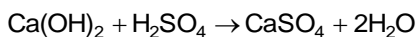
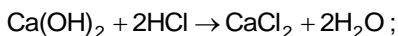


Дальнейший процесс взаимодействия диоксида углерода и бетона идет с образованием растворимого гидрокарбоната кальция:



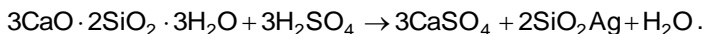
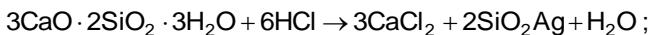
Сильной коррозионной активностью обладают серная, соляная, азотная кислоты. Под действием кислот цементный камень разлагается, образуя кальциевую соль и аморфные массы.

В качестве примера приведены реакции взаимодействия с бетоном соляной и серной кислот:



в результате чего  $\text{Ca(OH)}_2$  разрушается.

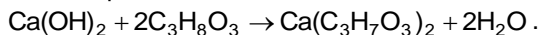
Основной гидросиликат кальция взаимодействует с кислотами по следующей реакции:



Аналогично разрушают бетон азотная и другие неорганические кислоты.

Среди органических кислот наиболее агрессивны по отношению к бетонам уксусная, молочная и масляная. Разрушают цементный камень и бетон льняное, хлопковое и тунговое масло, а также рыбий жир, которые содержат высокомолекулярные кислоты жирного ряда. Также агрессивно действуют на бетонные и железобетонные конструкции

растворы глицерина, которые связывают гидроксид кальция в легкорастворимый глицерат кальция:



Развитию коррозии способствует растворение и вымывание продуктов разрушения: при действии кислоты на цементный камень он может полностью разрушиться. Если продукты разрушения малорастворимы, то со временем коррозия замедляется. Увеличение притока агрессивной среды повышает скорость коррозии. При небольшой концентрации кислоты и малой скорости ее притока развивается коррозия не II, а I вида, которая характеризуется замедлением скорости растворения, вызванным замедлением диффузии из пристенного слоя фильтрата в окружающую водную среду. Скорость коррозии возрастает с увеличением концентрации кислоты и скорости фильтрации. Но скорость коррозии отстает от скорости фильтрации вследствие защиты бетона продуктами коррозии, а также более медленной коррозии негидратированных зерен цемента, чем гидрата окиси кальция.

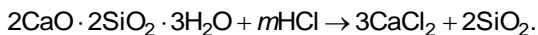
Следует отметить, что при концентрации растворов кислот выше 0,0001N, практически все цементные бетоны, за исключением кислотоупорных, быстро разрушаются. Однако при этом более стойкими оказываются бетоны плотной структуры на портландцементе.

При воздействии кислот более стойким оказывается портландцемент и менее стойким – пуццолановый портландцемент. Меньшая стойкость пуццолановых портландцементов по сравнению с портландцементом объясняется более полной гидратацией зерен клинкера и снижением количества свободного гидрата окиси кальция вследствие поглощения его добавками или образования гидросиликатов либо гидроалюминатов кальция.

Повышенная степень гидратации цементов, содержащих гидрофобные добавки, способствует ускорению коррозии этих цементов по сравнению с портландцементом.

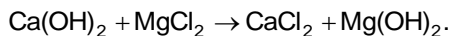
Стойкость бетонов в кислотной среде также зависит от вида заполнителей. Менее подвержены разрушению заполнители силикатных пород (гранит, сиенит, базальт, песчаник, кварцит).

Не уступают по агрессивности в отношении к бетонным и железобетонным конструкциям растворы некоторых солей, образованных катионами слабого основания и анионами сильной кислоты: сульфаты алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , хлорид железа  $\text{FeCl}_3$ , сульфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и др. Взаимодействуя с водой, они образуют сильные кислоты, разлагающие материал на кальциевую соль и аморфные массы:



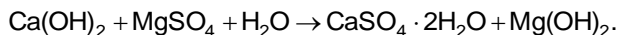
Магнезиальная коррозия вызывается действием на бетонные конструкции растворов магнезиальных солей ( $\text{MgSO}_4$  и  $\text{MgCl}_2$ ).

Чисто магнезиальная коррозия происходит при воздействии на бетон хлорида магния:



Гидроксид магния малорастворим в воде и выпадает в осадок в виде рыхлой, проницаемой для воды пленки. Такая реакция идет, пока полностью не израсходуется гидроксид кальция. Под действием солей магния возможно также разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.

Сульфат магния  $\text{MgSO}_4$  вызывает сульфатно-магнезиальную коррозию



Гидроксид магния, образующийся в результате указанных реакций, может оставаться в осадке до тех пор, пока в растворе имеется достаточное количество гидроксида кальция, т. е. когда концентрация ионов  $\text{OH}^-$  высока. С понижением pH среды гидроксид магния может частично перейти в раствор и при карбонизации образовать на поверхности бетона карбонатную пленку.

При действии магнезиальных солей наряду с гидроксидом магния образуются также хлорид и сульфат кальция.

На бетон агрессивно действуют растворы хлорида кальция. Все хлориды, накапливающиеся в железобетонных конструкциях, ускоряют коррозию арматуры и закладных деталей.

При применении щебня из горных пород, содержащих аморфный кремнезем, в качестве заполнителя для бетонов они могут разрушаться, если в материале бетона имеются повышенные концентрации соединений щелочных металлов – натрия и калия.

Агрессивное влияние сульфата кальция на цементный камень будет обильно при опасении коррозии третьего вида. Хлорид кальция повышает растворимость извести и, следовательно, ускоряет коррозионные процессы первого вида.

В результате реакции между гидроксидом кальция и магнезиальными солями образуется малорастворимый гидроксид магния, что создает условия для растворения и гидролиза гидратных образований в цементном камне. Наиболее интенсивно магнезиальная коррозия протекает в растворах хлористого магния  $\text{MgCl}_2$  концентрации более 2 %; в растворах сульфата магния  $\text{MgSO}_4$  концентрации 0,5–0,75 %.

Сульфаты кальция, натрия и других металлов присутствуют в природных и сточных водах. В водопроводной воде, а также в реках и пресных озерах концентрация сульфат-ионов, как правило, не превышает 60 мг/л. В минеральных грунтовых водах их концентрация может достигать 5000 мг/л и более, в производственных стоках – 10000 мг/л.

Щелочная коррозия цементного камня происходит при высокой концентрации щелочей и положительной температуре среды. В этих условиях растворяются составляющие цементного клинкера (кремнезем и полутворные окислы), что и вызывает разрушение бетона. Более стойкими к щелочной коррозии являются бетоны на портландцементе и заполнителях карбонатных пород.

Растворы щелочей (NaOH) по-разному влияют на бетон, поскольку сам бетон имеет щелочную реакцию. Растворы щелочей низкой концентрации (едкий натр, сода и др.) не вызывают разрушения бетона вследствие наличия в них одноименных с гидратом окиси кальция ионов OH. Но в растворах с высокой концентрацией щелочей при повышении температуры растворяются другие составные части – кремнезем и полутворные окислы, в результате чего бетон разрушается. При действии щелочей на цемент образуются щелочноземельные силикаты и алюминаты.

Чем выше концентрация щелочного раствора, тем больше скорость коррозии. В растворах щелочей при концентрации до 5 % стойкость портландцемента, пуццоланового портландцемента и шлакопортландцемента равна. При увеличении концентрации щелочи портландцемент оказывается более стойким. В слабых растворах щелочей (до 1–2 %) наибольшей стойкостью обладают пуццолановые и шлакопортландцементы.

В обеспечении стойкости бетонов в растворах щелочей существенную роль играют не только цементы, но и крупные заполнители. Этими качествами не обладают мергели и другие породы с прослойками глины. Поэтому в качестве заполнителей рекомендуются плотные карбонатные породы. Решающее влияние на стойкость бетона в щелочах, так же как и в иных средах, оказывает его плотность.

К особо агрессивным средам, вызывающим коррозию II вида, следует отнести:

- свободные органические кислоты (например, уксусная, молочная), растворяющие кальций;
- сульфаты, способствующие образованию сульфатоалюмината кальция или гипса;
- соли магния, снижающие прочность соединений, содержащих известь;
- соли аммония, разрушающе действующие на композиты, содержащие известь.

Помимо названных химикатов вредными для бетона являются растительные и животные жиры и масла, так как они, превращая известь в мягкие соли жирных кислот, разрушают цементный камень.

Основным видом коррозии II вида является карбонизация бетона. Карбонизация – процесс взаимодействия углекислого газа воздуха с продуктами гидратации вяжущего.

Все бетонные и железобетонные конструкции, эксплуатирующиеся в воздушной среде, подвержены влиянию находящихся в воздухе кислых газов. Основную долю кислых газов составляет углекислый газ, концентрация которого в обычном чистом воздухе составляет около 600 мг/м<sup>3</sup>, или 0,03 % по объему. Других кислых газов в воздухе обычно значительно меньшее количество, и их концентрации не превышают среднесуточных предельно допустимых значений, равных 0,0003–10 мг/м<sup>3</sup> в зависимости от вида газа. В зданиях цехов и животноводческих помещениях количество кислых газов может быть в 2–4 раза больше предельно допустимого. Однако даже в этом случае концентрация их остается в 100–10000 раз меньшей концентрации углекислого газа. Таким образом, наиболее значимым фактором, определяющим долговечность конструкций в воздушной среде, является взаимодействие углекислого газа воздуха с бетоном.

Карбонизация вызывает нейтрализацию бетона, т. е. потерю им защитных свойств по отношению к арматуре. При карбонизации бетона изменяется содержание карбонатной составляющей, по мере накопления которой происходят структурные изменения цементного камня, вызывающие деградацию бетона и снижение его защитных свойств по отношению к арматуре, что в соответствующих условиях способствует развитию процессов коррозии стальной арматуры различной интенсивности. Развитие коррозионных процессов в арматуре обусловлено, в первую очередь, пористой структурой бетона и, как следствие, его проницаемостью. Значительная толщина защитного слоя и щелочная среда самого бетона обеспечивают ему наличие защитных свойств по отношению к арматуре. Однако оба эти фактора имеют различную динамику во времени. Так, если толщина защитного слоя остается неизменной на протяжении всего срока эксплуатации конструкций (при условии отсутствия мероприятий по ее увеличению), то химические свойства цементного камня бетона постоянно изменяются, приводя к постепенному снижению щелочности от поверхности вглубь конструкции.

Таким образом, процесс коррозионного разрушения строительной конструкции начинается с ее поверхности. В первую очередь теряет свои эксплуатационные свойства бетон защитного слоя. Изменение его структуры происходит без видимых повреждений, коррозия арматуры начинается внутри бетона. Образующиеся продукты коррозии стали занимают в 2–2,5 раза больший объем, чем слой прородированного

металла, и вызывают развитие растягивающих напряжений в бетоне, превышающих его прочность, в результате чего образуются трещины в защитном слое, ориентированные вдоль корродирующих стержней. Образование таких трещин облегчает доступ агрессивных агентов к арматуре и ускоряет, как правило, ее коррозию. В дальнейшем, при отсутствии защитных и восстанавливающих мероприятий, развитие коррозии арматуры приводит к отслаиванию и разрушению защитного слоя, нарушению сцепления арматуры с бетоном и падению несущей способности конструкции. Для изгибаемых элементов потеря несущей способности от нарушения сцепления арматуры с бетоном составляет 30–35 %. Последующее интенсивное коррозионное разрушение арматуры приводит к полной потере несущей способности конструкции (при практически сохранившемся бетоне в более глубоких слоях) и созданию аварийной ситуации.

В соответствии с общепринятыми представлениями карбонизация развивается линейно с поверхности вглубь конструкции, при этом реакция карбонизации происходит в узкой (около 1 мм) зоне. Процесс карбонизации рассматривается как конечный во времени и по сечению бетона.

В настоящее время оценку и прогнозирование карбонизации в ЖБК, эксплуатирующихся в воздушной среде, осуществляют по изменению толщины нейтрализованного слоя бетона. Ее определяют с помощью 0,1 % спиртового раствора фенолфталеина (индикаторным тестом). При этом считается, что бетон в неокрашенной зоне нейтрализован и потерял свои защитные свойства по отношению к арматуре, а в окрашенной – находится в удовлетворительном состоянии.

Многолетние авторские исследования железобетонных конструкций по сечению бетона полностью опровергают такие представления. Они показывают, что карбонизация бетона продолжается все время эксплуатации конструкций. Она развивается с поверхностных слоев вглубь бетона конструкций не фронтально, а по экспоненциальной зависимости (степень карбонизации бетона максимальна в поверхностных слоях). При этом значения толщины слоя бетона, в которой он потерял защитные свойства по отношению к арматуре, определенные индикаторным тестом и физико-химическим методом (методами pH- и карбометрии), отличаются до нескольких раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в арматуре присутствуют в зоне, в которой по индикаторному тесту бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре.

Кроме того, в лабораторных условиях выявлено, что на границе перехода неокрашенной зоны бетона в окрашенную  $\text{pH} \approx 10$ , а в соответствии с термодинамическими представлениями коррозия арматуры возможна при  $\text{pH} \leq 11,8$ .



Результаты исследования автором кинетики и механизма взаимодействия растворов гидроокиси кальция с углекислым газом воздуха, кинетики испарения воды и адсорбции и десорбции паров влаги образцами бетона, карбонизации свежеизготовленных образцов бетона, карбонизации и развития ее по сечению бетона во времени конструкций, эксплуатировавшихся длительные сроки в различных атмосферных условиях, позволили предложить иную модель карбонизации в поровом пространстве бетона, основанную на экспериментальных результатах. В соответствии с ней процесс карбонизации в поровом пространстве рассматривается по аналогии с действием гидравлического насоса. Периодическое изменение температуры и влажности способствует частой смене уровня поровой жидкости, исполняющей роль поршня гидравлического насоса в газовой среде поры. Чем чаще происходят перепады температуры и меняется влажность, тем выше скорость карбонизации из-за более эффективной работы гидравлических насосов, обеспечивающих подсос воздуха в поры. Дождевые осадки и периодическая смена относительной влажности и температуры также будут способствовать возвратно-поступательному движению мениска жидкости в поре и возобновлению реакции карбонизации.

В таких условиях скорость карбонизации будет определяться пористостью материала и частотой смены увлажнения и высыхания поровой влаги, т. е. условиями эксплуатации, что особенно проявляется в поверхностных слоях бетонных и железобетонных конструкций. С одной стороны, на такой глубине максимально облегчен диффузионный подвод  $\text{CO}_2$  в зону химической реакции, с другой – в этом слое наблюдается частая смена влаги в капиллярно-поровой структуре бетона, где идет химическое взаимодействие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с углекислым газом воздуха.

Исследования карбонизации по сечению бетона свежеизготовленных образцов для бетонов различных классов по прочности, а также длительно эксплуатируемых в различных атмосферных условиях конструкций позволили автору предложить модель развития карбонизации во времени по сечению бетона.

В качестве примера на рисунке 5.15 приведена модель развития карбонизации по сечению бетона во времени для бетона класса  $\text{C}^{18}/22,5$ , эксплуатирующегося в агрессивной среде.

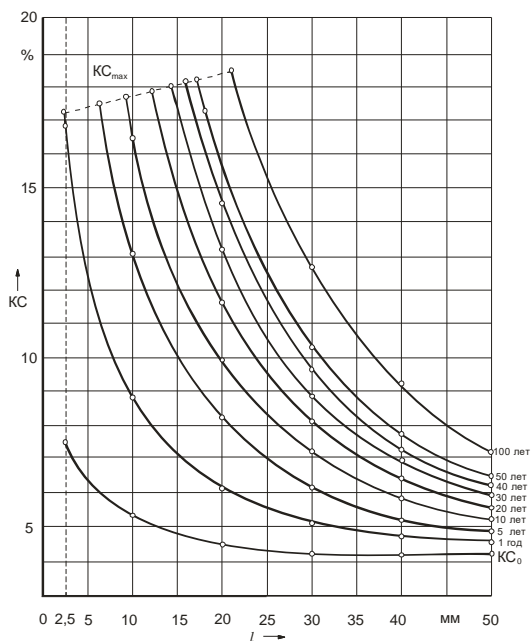


Рисунок 5.15 – Развитие карбонизации бетона класса  $C^{18}/_{22,5}$  для ЖБК, эксплуатирующихся в сельскохозяйственных помещениях в условиях повышенной карбонизации:

$КС_0$  – значение карбонатной составляющей сразу после изготовления бетона с применением тепловлажностной обработки;  $КС_{max}$  – максимальное значение карбонатной составляющей для бетона данного класса по прочности

Она показывает, что карбонизация бетона развивается по сложной экспоненциальной зависимости. Ее использование позволяет определить начальные показатели карбонизации для различных толщин защитного слоя, спрогнозировать развитие во времени карбонатной составляющей (КС), а также определить срок службы бетона до его полной карбонизации. Так, например, для толщины защитного слоя 15 мм,  $КС_0 = 7,34 \%$ , 20 мм – 5,90 %. После двадцати лет эксплуатации в условиях повышенной карбонизации значения карбонатной составляющей для приведенных толщин защитного слоя составят соответственно  $КС = 16,46$  и  $13,32 \%$ . Срок службы конструкций до полной карбонизации бетона составит соответственно на глубине 15 мм – 28 лет, 20 мм – 56 лет.

Выполнены многолетние исследования изменения физико-химических характеристик бетона методами рН- и карбометрии в зоне расположения арматуры. В основу исследований положено использование методов рН- и карбометрии, поскольку показатель рН

является основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты или другие продукты химического взаимодействия под воздействием внешней среды. Он также является универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к арматуре, а карбонатная составляющая характеризует количественное содержание карбонатов в цементно-песчаной фракции бетона и позволяет оценить их влияние на изменение показателя рН.

Полученные результаты были систематизированы с целью сопоставления коррозионного состояния стальной арматуры с параметрами защитного слоя бетона, что позволило назначить критерии оценки технического состояния железобетонных конструкций по показателям рН (значению рН водной вытяжки цементного камня) и КС (значению карбонатной составляющей) бетона защитного слоя в зоне расположения арматуры для использования при детальном обследовании конструкций зданий и сооружений (таблица 5.33).

**Таблица 5.33 – Критерии оценки технического состояния ЖБК**

рН	КС, %	Состояние бетона и арматуры. Техническое состояние железобетонной конструкции (в соответствии с СНБ 1.04.01-04)
12,7–11,8	5–9	Происходит плавное снижение показателя рН, свидетельствующее о нейтрализации бетона и падении его защитных свойств по отношению к арматуре. Показатель рН приближается к границе, после которой бетон полностью нейтрализуется и теряет свои защитные свойства по отношению к арматуре, что вызывает возможность развития коррозии в условиях переменной влажности. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к арматуре, арматура – в пассивном состоянии. Состояние бетона, арматуры – хорошее. Техническое состояние ЖБК – хорошее

*Окончание таблицы 5.33*

рН	КС, %	Состояние бетона и арматуры. Техническое состояние железобетонной конструкции (в соответствии с СНБ 1.04.01-04)
11,8–11,3	9–16	Происходит резкое снижение показателя рН, свидетельствующее о потере бетоном защитных свойств по отношению к арматуре. 2-я степень коррозии арматуры. Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное
11,3–10,8	12–18	Развитие деградационных процессов в бетоне. 2-я степень коррозии арматуры при рН = (11,0 ... 11,3). Состояние бетона, арматуры – удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – удовлетворительное
		3-я степень коррозии арматуры при рН = (10,8 ... 11,0). Состояние бетона, арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – не вполне удовлетворительное

10,8–10,3	14–22	Образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. 3-я степень коррозии арматуры при pH = (10,5 ... 10,8). Состояние бетона, арматуры – не вполне удовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – не вполне удовлетворительное
		Образование трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. Раскрытие трещин в местах недостаточной толщины защитного слоя. Отслаивание защитного слоя бетона в местах его недостаточной толщины. 4-я степень коррозии арматуры при pH = (10,3 ... 10,5). Состояние бетона, арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – неудовлетворительное
10,3–9,5	17–28	Деградация бетона повышенной интенсивности. Раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной арматуры. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. 4-я степень коррозии арматуры при pH = (10,3 ... 9,8). Состояние бетона, арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – неудовлетворительное
		5-я степень коррозии арматуры при pH = (9,8 ... 9,5). Состояние бетона, арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – неудовлетворительное
<9,5	20–30	Полная деградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем. Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона. 5-я степень коррозии арматуры. Состояние бетона и арматуры – неудовлетворительное. Техническое состояние ЖБК – предаварийное
<10	2–9	Нарушен рецептурный состав (недостаток вяжущего и избыток заполнителей). Техническое состояние конструкций оценивается по результатам детального обследования

Предложенные критерии оценки технического состояния железобетонных конструкций значительно расширяют возможности обследования зданий и сооружений с целью более объективной оценки и прогнозирования их технического состояния при разработке рекомендаций по дальнейшей безопасной эксплуатации конструкций.

**Коррозия III вида.** Данный вид коррозии, или кристаллизационное разрушение бетона, происходит вследствие накопления в порах и капиллярах бетона кристаллов солей. Такое накопление происходит по двум причинам:

- в результате химических реакций взаимодействия агрессивной среды и составных частей цементного камня;
- в результате приноса солей извне и выделения их из раствора при постепенном испарении влаги, например в частях сооружений, расположенных в жарких сухих районах с засоленными грунтами.

На начальной стадии рост кристаллов повышает плотность бетона [кристаллы соли, выпадая в осадок, кольматируют (заполняют) пустоты в бетоне] и, как следствие, увеличивается его прочность. Однако в последующем продукты кристаллизации настолько увеличиваются в

объеме (возникают такие растягивающие усилия в стенках пор и капилляров), что начинают рвать структурные связи, приводя к интенсивному трещинообразованию и многочисленным локальным разрушениям бетона. Конструкции теряют свою прочность. Поэтому оценка степени опасности коррозии III вида только по величине прочности бетона, особенно на начальной стадии, может ввести в заблуждение.

Кристаллизационное разрушение конструкций при пористом бетоне и сильноагрессивной среде может наступить быстро – через недели или месяцы, а при первоначально плотном бетоне – через несколько лет.

Если при коррозии I и II видов бетон разрушается вследствие медленного или ускоренного механического разрушения либо химического растворения и вымывания водой составных частей цементного камня, то ведущим признаком коррозии III вида является, наоборот, накопление в бетоне новообразований – кристаллов, до тех пор, пока они не разрушают структуру бетона.

В развитии коррозии III вида существенную роль играет характеристика растворов, выделяющих кристаллы, а также поры и пустоты в бетоне, по которым водный раствор проникает в его толщу и где происходит кристаллизация солей. Причины низкой плотности бетона рассмотрены выше.

Определяющим фактором кристаллизационной коррозии является наличие в водных растворах сульфатов кальция, магния, натрия, способных при взаимодействии с трехкальциевым гидроксидом алюмината цемента образовывать кристаллы. Следовательно, к более стойким к коррозии III вида следует относить такие бетоны, в которых использованы цементы с низким содержанием трехкальциевого алюмината, а именно: в портландцементе – до 5 %, в пуццолановом и шлакопортландцементе – до 7 %.

Сульфаты  $\text{SO}_4^{2-}$  кальция, магния, натрия встречаются в составе большинства природных вод. В пресных водах их содержание не превышает 60–100 мг/л, в минерализованных – во много раз больше, в морской воде – составляет 2500–2700 мг/л.

Наличие сульфатов в воде, соприкасающейся с бетоном, способствует:

- повышению растворимости составных частей цементного камня и, таким образом, форсированию коррозии I вида;
- возникновению в определенных условиях обменных реакций с замещением катиона в сульфате ионом  $\text{Ca}^{2+}$  и коррозии II вида;
- насыщению сернокислым кальцием  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в результате обменных реакций воды, соприкасающейся с цементным камнем, что при достижении определенной концентрации может привести к выделению и

росту кристаллов и связанному с этим кристаллизационному разрушению – коррозии III вида.

При концентрации  $\text{CaSO}_4$  больше 2020 мг/л возможно образование кристаллов гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . При этом присутствие других ионов (иных солей) смещает точку равновесия в растворе. Так, например,  $\text{NaCl}$  повышает растворимость  $\text{CaSO}_4$  и отодвигает начало образования кристаллов;  $\text{CaCl}_2$ , наоборот, снижает растворимость  $\text{CaSO}_4$  и приближает момент начала выпадания  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в твердую фазу.

Из комплексных солей, образующихся в бетоне при действии агрессивных растворов, наибольшее значение для стойкости цементного камня имеет сульфоалюминат кальция, который кристаллизуется с 30–32 молекулами воды:



Большое содержание кристаллизационной воды в сульфоалюминате кальция при росте кристаллов приводит к значительным деформациям бетона. Сульфоалюминат кальция образуется при участии гидроалюминатов цементного камня и гипса. При этом гипс либо поступает в виде раствора, либо образуется в результате взаимодействия других сульфатов агрессивного раствора и гидрата окиси кальция цементного камня. Таким образом, кристаллизационное разрушение бетона возможно при кристаллизации гипса или более сложного соединения на базе гипса – сульфоалюмината кальция.

Заметные количества сульфоалюмината кальция, которые могут влиять на прочность бетона, начинают образовываться при концентрации сульфатов натрия и магния (иона  $\text{SO}_4$ ) в растворе, превышающей 250 мг/л. Количество сульфоалюмината при достаточном содержании трехкальциевого алюмината  $\text{Ca}_3\text{Al}$  в твердой фазе пропорционально концентрации сульфата  $\text{SO}_4$  в растворе.

Накопление кристаллических новообразований, прежде всего гипса, а также сульфоалюмината кальция начинается с образования тонкой пленки на поверхности бетона. Затем, по мере проникновения агрессивного раствора в толщу конструкции, новообразования появляются в порах и пустотах слоями (прожилками), параллельными наружной бетонной поверхности. Эти образования кристаллов приводят на определенной стадии к возникновению трещин в бетоне, параллельных наружной, подверженной воздействию раствора сульфата, поверхности. При поступлении в трещины раствора и накоплении кристаллов происходит дальнейшее разрушение конструкции, вследствие чего раствор проникает все глубже к новым слоям бетона. Бетон окончательно разрушается при заполнении пор и

пустот кристаллами и при появлении трещин в перпендикулярном к наружной поверхности конструкции направлении.

Образование кристаллов происходит там, где имеются скопления гидрата окиси кальция, так как последний замещается гипсом. Выше отмечалось, что при бетонировании больше всего воды скапливается в поверхностных слоях конструкций. Именно в этих слоях вода насыщается гидратом окиси кальция, являющимся продуктом гидролиза цемента, а после ее испарения или расходования на дальнейшую гидратацию, естественно, в поверхностных слоях остается больше гидрата окиси кальция. Диффузия сульфатов натрия, магния и кальция в конструкции ведет к образованию на месте гидрата окиси кальция кристаллов гипса и сульфоалюмината.

Сравнивая стойкость в растворах сульфатов пуццолановых портландцементов с портландцементами, следует указать, что в первых она выше в связи с большей гидратацией зерен цемента. Так как в пуццолановом портландцементе основная масса цементного камня состоит из некристаллизованного вещества – геля и количество свободного гидрата окиси кальция очень мало из-за его поглощения гидравлической добавкой, то накопление кристаллообразований и разрушение бетона протекают медленнее.

Глиноземистый цемент не содержит гидрата окиси кальция, дает более плотную структуру бетона и поэтому он более сульфатостоек, чем пуццолановые и шлакопортландцементы.

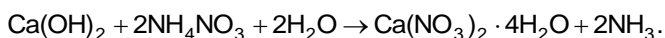
Обследования подземных частей сооружений часто показывают, что бетонные конструкции хорошо сохранились и не имеют признаков коррозии, хотя и увлажнялись соевыми растворами, в частности калийных солей. В то же время наземные конструкции, подвергаясь влиянию солей, находящихся в воде или в воздухе, сильно разрушаются. Из этого можно сделать вывод, что одной из причин разрушения бетона в наземных конструкциях являются кристаллизационные процессы, отсутствующие в подземных конструкциях в связи со стабильной температурно-влажностной средой. Таким образом, опасна не сама пропитка строительных конструкций соевыми растворами, а вызывающая их разрушение кристаллизация солей в порах материалов при высыхании конструкций, которая начинается со стороны поверхности испарения, ибо интенсивный рост кристаллов происходит именно с этой стороны.

#### ***Коррозия бетона под воздействием минеральных удобрений.***

Многие соли, входящие в состав минеральных удобрений, гигроскопичны и водорастворимы. Поглощая пары воды из атмосферы, они частично переходят в состояние водного раствора и в таком виде могут быстро разрушать бетон, изготовленный на портландцементе.

Особенно вредны для бетона аммиачные удобрения – *аммиачная селитра* и *сульфат аммония*.

*Аммиачная селитра* (нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) в воде дает кислую реакцию из-за гидролиза. Действию нитрата аммония подвергается гидроксид кальция цементного камня:



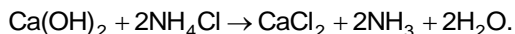
Нитрат кальция хорошо растворим в воде, поэтому при доступе влаги свободная известь может быстро удаляться из бетона. Если влажность бетона невелика, то в нем могут возникнуть деформации расширения, так как образование  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  сопровождается увеличением объема.

Азотная кислота, обычно имеющаяся в аммиачной селитре, может действовать не только на гидроксид кальция, но при определенных условиях и на другие составляющие цементного камня, разлагая их.

Сульфат аммония в воде тоже имеет кислую реакцию вследствие гидролиза. Он взаимодействует с гидроксидом кальция цементного камня, образуя гипс. Серная кислота, обычно имеющаяся в сульфате аммония, приводит к образованию гипса, а иногда и к разложению силикатов и алюминатов кальция.

Гидросульфалоюминат кальция, который может образоваться из гипса, находящегося в проникающей в бетон воде, и гидроалюминатов кальция, содержащихся в цементном камне, вызывает, как известно, увеличение объема и разрушение бетона.

Иногда в качестве аммиачного удобрения применяют *хлористый аммоний*. Соль агрессивна, так как образует с гидроксидом кальция хорошо растворимый хлористый кальций:



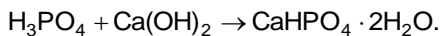
Нитратные удобрения, содержащие соли  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ , воздействуя на свободную известь цементного камня, образуют четырехводный нитрат кальция, вредно действующий на бетон.

Из калийных удобрений важнейшим является *хлорид калия*. Эта соль гигроскопична. Растворимость извести в водных растворах хлорида калия выше, чем в чистой воде. Это ускоряет выщелачивание извести.

К фосфорным удобрениям относятся *суперфосфат*, *двойной суперфосфат* и др. Простой суперфосфат состоит в основном из монокальциевого фосфата  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  и гипса, но содержит также небольшое количество свободной фосфорной кислоты  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Гипс вызывает сульфатную коррозию цементного камня. Содержащиеся в суперфосфате монокальциевый фосфат и фосфорная кислота (эти соединения хорошо растворимы в воде) реагируют с гидроксидом кальция цементного камня следующим образом:





Монокальциевый фосфат, взаимодействуя с известью, тоже переходит в двузамещенный фосфат кальция  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , обладающий малой растворимостью. Это соединение в среде, богатой ионами кальция, может переходить в более основные фосфаты кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , которые в воде практически нерастворимы.

Следовательно, при воздействии указанных соединений фосфора на бетон в его поверхностном слое появляются новые соединения; они не обладают вяжущими свойствами и разрыхляют бетон, но в результате нерастворимости их в воде дальнейшее развитие процесса тормозится. Поэтому монокальциевый фосфат и фосфорная кислота оказывают на бетон более слабое агрессивное воздействие, чем содержащийся в суперфосфате гипс.

*Двойной суперфосфат* – это высококонцентрированное фосфорное удобрение. От простого суперфосфата он отличается главным образом тем, что почти не содержит гипса. Фосфор находится в нем в виде тех же соединений, что и в простом суперфосфате. Двойной суперфосфат не вызывает сульфатной коррозии бетона и поэтому менее агрессивен, чем простой суперфосфат.

Вредное влияние на бетон обычно усиливается при воздействии сложных минеральных удобрений. Так, *аммонизированный суперфосфат*, содержащий сульфат аммония и гипс, вызывает сильную сульфатную коррозию бетона. Нитрофоска разрушает бетон, потому что в ней наряду с  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  содержится  $\text{KNO}_3$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (или  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).

**5.6.3.2. Коррозия арматуры.** Арматура в бетоне играет исключительно важную роль, так как воспринимает растягивающее напряжение от внешней нагрузки, обеспечивая прочность и жесткость конструкции.

Коррозия арматуры в бетоне может возникнуть: а) при уменьшении щелочности окружающего арматуру электролита до pH, равного или меньше 11,8 при карбонизации или коррозии бетона; б) при активирующем действии хлорид- и сульфат-ионов, которые могут проникнуть к арматуре через трещины в бетоне.

Развитию коррозии сопутствуют различные факторы (рисунок 5.16).



Рисунок 5.16 – Классификация факторов, сопутствующих коррозии арматуры

Сразу после изготовления под влиянием щелочной среды цементного бетона ( $pH = 12,5...12,6$ ) стальная арматура пассивируется, т. е. защищается от окисления. Пассивное состояние арматуры сохраняется, пока не произойдет снижение  $pH$  поровой влаги бетона ниже некоторого предела ( $\approx 11,8$ ), либо содержание в ней ионов-активаторов, в частности хлорид-ионов, не превысит некоторое критическое значение ( $0,1-0,4\%$  по массе цемента). Однако оба этих фактора могут проявиться уже при изготовлении конструкции. Снижение  $pH$  может быть результатом либо интенсивного связывания гидроксида кальция активной составляющей заполнителя (например, мелкими фракциями керамзита), либо использования бесцементных или малоцементных вяжущих (например, автоклавного твердения). Хлориды могут присутствовать в составе вяжущего, заполнителей и воды затворения, а также добавок-ускорителей твердения и противоморозных. Если их количество в жидкой фазе будет выше критического, то сталь не будет пассивироваться при твердении бетона. То же произойдет, если значение  $pH$  не достигнет указанного предела.

В обоих этих случаях процесс коррозии арматуры начинается уже при изготовлении конструкции, т. е. практически без инкубационного периода, и скорость его развития будет зависеть в основном от влажности бетона в процессе эксплуатации конструкции: в постоянно сухих условиях, либо при постоянном водонасыщении бетона (конструкции под водой) коррозия практически не будет развиваться. При промежуточном или переменном значении влажности бетона коррозия будет развиваться со скоростью, величина которой будет зависеть от многих факторов (температурно-влажностного режима, толщины и проницаемости защитного слоя бетона, содержания хлоридов в нем и т. д.

В случае, если обеспечено первоначальное защитное действие бетона, т. е. сталь в нем не активируется при изготовлении конструкции, то она может потерять пассивность только в результате изменения в составе поровой влаги под действием среды, на что потребуется,

очевидно, тем большее время (инкубационный период), чем ниже агрессивность сред: чем толще защитный слой бетона и больше его реакционная емкость, чем меньше его проницаемость.

Щелочность защитного слоя бетона в результате воздействия воды и содержащихся в воздухе двуокисей углерода  $\text{CO}_2$  и серы  $\text{SO}_2$  постепенно снижается, и если она оказывается ниже граничного значения рН, в арматуре начинаются окислительные процессы. Поскольку арматурная сталь неоднородна по структуре, как и контактирующая с ней среда, создаются необходимые условия для протекания коррозии. Коррозия арматуры в бетоне является электрохимическим процессом.

**Коррозионные состояния стали в бетоне.** Плотный бетон, не карбонизированный действием кислых газов атмосферы, имеет высокую щелочность ( $\text{pH} \approx 13$ ) поровой влаги, создаваемую присутствием  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  и  $\text{Ca(OH)}_2$ , образующихся при гидратации зерен клинкера. Поровая влага обычно содержит достаточно растворенного кислорода.

В такой среде стальная арматура находится в состоянии пассивности (*пассивное состояние*), и скорость коррозии пренебрежимо мала вследствие защитного действия оксидной пленки. Коррозионный потенциал стали в таких условиях меняется в широких пределах от +200 до –200 мВ по насыщенному каломельному электроду в зависимости от доступа катодного деполяризатора – кислорода, как для конструкций на воздухе, однако уровень растворенного кислорода обычно достаточен, чтобы поддерживать коррозионный потенциал пассивной стали в пределах от +100 до –200 мВ по насыщенному каломельному электроду.

Стабильность пассивного состояния стали зависит от качества бетона и толщины защитного слоя. Они определяют способность системы сопротивляться агрессивным веществам, которые постепенно изменяют состав поровой влаги, создавая опасность для пассивной стали.

**Временная зависимость коррозионных состояний.** Изменение коррозионного состояния стали в бетоне происходит с течением времени. Модель изменения коррозионного поведения стали во времени представляется в виде двух этапов.

**Инкубационный период.** В течение этого этапа находящийся в бетоне металл остается пассивным, поскольку предел этому состоянию определяется временем взаимодействия бетона со средой.

**Коррозионный период.** Начинается с момента депассивации и включает развитие коррозии с заметной скоростью, пока не будет достигнуто предельное состояние, когда конструкция теряет несущую способность, эксплуатационные свойства или внешний вид.

Таким образом, долговечность железобетонной конструкции представляется совокупностью этих периодов.

Изложенное позволяет сделать следующие выводы:

– сталь в бетоне может находиться в различных коррозионных состояниях как в зависимости от его первоначального состава, так и изменения его (главным образом жидкой фазы) под действием агрессивных компонентов среды;

– продолжительность периода взаимодействия бетона в пределах защитного слоя со средой, результатом чего является нарушение пассивного состояния стальной арматуры, по существу определяет долговечность железобетонной конструкции, так как может рассматриваться как одно из предельных состояний ее в агрессивной среде;

– относительно продолжительности развития коррозии арматуры после потери ею пассивности пока можно высказать только самые общие соображения, а именно, что она может быть весьма большой в двух случаях: когда скорость коррозии ограничивается большим омическим сопротивлением сухого бетона и когда скорость коррозии ограничивается малой проницаемостью бетона для кислорода, т. е. он полностью и постоянно насыщен водой. Для прочих влажностных состояний проводить какие-либо расчеты допустимой длительности коррозии арматуры очень сложно, учитывая как механическое разрушение бетона в защитном слое растущим на поверхности арматуры слоем ржавчины, так и потерю пластичности (охрупчивание) арматуры вплоть до коррозионного растрескивания ее высокопрочных разновидностей.

**Параметры, определяющие развитие коррозии.** Вид коррозии определяется действующей средой, а скорость – степенью поляризаций анодного или катодного процессов, которая влияет на уровень и разность их потенциалов, или электрическим сопротивлением цементной матрицы.

Так, питтинговая коррозия обычно контролируется поляризацией анодного процесса и сопротивлением электролита. Степень катодной поляризации не играет существенной роли, за исключением случаев непроницаемости бетона для кислорода, как, например, в подводных конструкциях.

Общая коррозия, возникающая вследствие карбонизации бетона, контролируется преимущественно сопротивлением бетона, хотя не исключено влияние анодной поляризации, особенно в присутствии хлоридов в бетоне, резко увеличивающих его электропроводность. Катодной поляризации нельзя ожидать, если первопричиной депассивации является карбонизация, пока доступ кислорода к поверхности арматуры не станет почему-либо ограничивающим фактором.

Низкопотенциальная коррозия возможна только в условиях, когда доступ кислорода к катодным участкам резко ограничен и коррозионный процесс будет под катодным контролем.

*Состояние питтинговой коррозии.* Питтинг обычно развивается в бетоне с хорошей проводимостью, некарбонизованном, при умеренном содержании хлоридов или локализованном их распределении, например при хлоридном загрязнении заполнителя. Пассивность нарушается локально в местах высокой концентрации хлорида или слабой пассивной пленки.

Такое коррозионное состояние характеризуется образованием гальванических пар с большой пассивной поверхностью стали, действующей как катод, и малыми анодными язвами, внутри которых поддерживается высокая концентрация хлорида и пониженное значение pH. Для развития питтинга необходима концентрация кислорода, достаточная, чтобы аноды были поляризованы до потенциала, более положительного, чем потенциал питтингообразования (пробоя), характерного для конкретной среды.

Средний коррозионный потенциал стальной арматуры, подвергающейся питтингу, изменяется в пределах от соответствующего ее пассивному состоянию до потенциала питтинговых анодов, обычно от  $-200$  до  $-500$  мВ по насыщенному каломельному электроду. Анодные участки с наиболее отрицательным потенциалом обычно бывают окружены поверхностями с высокими градиентами потенциала.

Образовавшиеся питтинги имеют преимущество в своем развитии перед "расползанием" или образованием новых. На аноде (питтинге) электролит подкисляется, на катоде – подщелачивается, усиливается действие концентрационной гальванопары. Резкому понижению pH в питтинге способствует высокая плотность тока и гидролиз, связанный с окислением  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$  по краям бугорка ржавчины над питтингом. Миграция ионов хлора к аноду, а также общее падение среднего коррозионного потенциала в результате поляризации катода мешают образованию поблизости новых питтингов, по крайней мере, до появления новых участков с существенно большей концентрацией хлорида.

Потенциал может начать смещаться в сторону замедления процесса в результате уменьшения плотности анодного тока из-за снижения разности потенциалов, увеличения площади анода в связи с нейтрализацией бетона вокруг анода кислой жидкостью, мигрирующей из питтинга. Возможна даже репассивация питтинга благодаря встречной диффузии катионов и анионов.

Важной особенностью питтинговой коррозии является растворимость продуктов коррозии в среде с низким pH вблизи анода, в связи с чем может развиваться значительное поражение арматуры без повреждения (растрескивания) защитного слоя бетона.

Развитие питтинговой коррозии могут облегчать следующие качества бетона:

- низкое электрическое сопротивление, способствующее действию макрогальванических пар и облегчающее миграцию ионов;
- высокое содержание щелочей и гидроксида кальция, препятствующее расширению и способствующее углублению питтинга;
- проницаемость для кислорода, определяющая суммарные коррозионные потери.

Однако при больших значениях соотношения катодных и анодных площадей интенсивный питтинг возможен даже при ограниченном доступе кислорода. Поступление кислорода облегчается, если бетон частично высыхает, но ускоряющему действию этого фактора противостоит высокое сопротивление и уменьшение влажности близ анода.

*Состояние общей коррозии.* Общая коррозия наблюдается как результат карбонизации или наличия в бетоне большого количества хлоридов, когда образуется множество близко расположенных питтингов. Поверхность превращается в смешанный электрод, где невозможно различить анодные и катодные участки. Разница в рН выравняется и анодное растворение происходит в нейтральной или щелочной влаге, где есть доступ кислорода. Продукты коррозии в этом случае образуют плотную ржавчину, вызывающую растрескивание бетона на ранней стадии процесса.

Коррозионный потенциал арматуры, подвергающейся общей коррозии, обычно находится в пределах от  $-450$  до  $-600$  мВ относительно насыщенного каломельного электрода, т. е. близко к потенциалу незащищенной стали в нейтральной воде. Градиенты потенциала в конструкции в таких условиях не столь велики, как при питтинговой коррозии.

Протекание процесса коррозии, вызванной карбонизацией, отличается от хлоридной. Карбонизированный бетон обычно имеет значительную проницаемость и невысокую влажность. Поэтому коррозия арматуры в нем контролируется относительно высоким сопротивлением и недостатком влаги больше, чем диффузией кислорода. Скорость коррозии определяется длительностью увлажнений (например, осадками), достигающих поверхности арматуры, поэтому, вероятно, скорость коррозии возрастает постепенно с увеличением влажности. Наоборот, при хлоридной коррозии, наблюдающейся чаще всего при действии морской воды или солей антиобледенителей и в некоторых производствах, когда в бетоне достаточно воды и мало его электрическое сопротивление, скорость коррозии обычно контролируется диффузией кислорода.

*Состояние активной, низкопотенциальной коррозии.* В средах, где поступление кислорода крайне затруднено, как, например, при полностью погружаемых или погребенных конструкциях, ограниченная

катодная плотность тока может со временем оказаться недостаточной, чтобы поддерживать пассивную пленку на поверхности стали.

При таких обстоятельствах металл ведет себя активно в высокощелочной среде, подвергаясь равномерному растворению с образованием  $\text{FeO} \cdot \text{OH}^-$  ионов. Коррозионный потенциал падает до значений от  $-850$  до  $-1000$  мВ по насыщенному каломельному электроду, скорость же растворения металла исключительно низка благодаря ограниченному доступу катодного деполаризатора – кислорода и соответствует порядка  $0,1$  мкм/год.

Скорость этого вида коррозии, вероятно, связана со скоростью коррозии в более изученных условиях. Так, при высокой концентрации хлоридов в насыщенном влагой бетоне, по-видимому, низкопотенциальная коррозия идет быстрее, чем в отсутствие хлоридов. Этот вид коррозии будет развиваться даже в таких условиях, когда кислорода недостаточно для поддержания тока утечки через пассивную пленку. Поэтому решающим параметром низкопотенциальной активной коррозии является концентрация кислорода на катодной поверхности.

#### ***Особенности коррозии стали в различных агрессивных средах.***

Омическое ограничение коррозии стали в воздушно-сухом бетоне имеет решающее значение для карбонизованного бетона без хлоридов. В наибольшей степени способствует развитию коррозии арматуры в таком бетоне периодическое изменение влажности в зоне расположения арматуры, связанное с действием атмосферных осадков, технологических источников увлажнения воздуха или выпадения конденсата в результате образования точки росы на поверхности конструкций (в основном ограждающих, главным образом плит покрытий при недостаточной теплоизоляции).

Омическое ограничение для процесса коррозии стали в бетоне с хлоридами имеет меньшее значение вследствие, во-первых, их гигроскопичности и, во-вторых, большей электропроводности жидкой фазы. Снижение влажности такого бетона может вызвать усиление локализации коррозии (питтингообразования).

Коррозия арматуры может быть вызвана разными неблагоприятными факторами, обуславливающими химическое и электрохимическое воздействие. К ним относятся растворы кислот, щелочей, солей, влажные газы, природные и промышленные воды, а также блуждающие токи.

*В кислотах, не обладающих окислительными свойствами* (соляная кислота), стальная арматура сильно корродирует в результате образования растворимых в воде и кислоте продуктов коррозии, причем с увеличением концентрации соляной кислоты скорость коррозии возрастает.

В кислотах, обладающих окислительными свойствами (азотная, серная и др.), при высоких концентрациях скорость коррозии, наоборот, уменьшается из-за пассивации поверхности арматуры.

Скорость коррозии арматуры в щелочных растворах при  $\text{pH} > 10$  резко снижается из-за образования нерастворимых гидратов закиси железа. Растворы едких щелочей и карбонаты щелочных металлов практически не разрушают арматуру, если их концентрация не превышает 40 %.

Солевая коррозия арматуры зависит от природы анионов и катионов, содержащихся в водных растворах солей.

Хлористые, серноокислые и азотнокислые соли щелочных металлов образуют с железом хорошо растворимые продукты. Наиболее активно разрушают защитные пленки хлорид-ионы. Аммонийные соли имеют повышенную коррозионную активность в связи со способностью иона  $\text{NH}_4^+$  образовывать с  $\text{Fe}^{2+}$  комплексные ионы.

Углекислые и фосфорнокислые соли образуют нерастворимые пленки солей железа на катодных участках, а соли некоторых окисляющих кислот, например хроматы и нитриты, – защитные пленки оксидного характера, что связано со способностью их анионов легко восстанавливаться (ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  или  $\text{Cl}_4^{-1}$  на железе восстанавливаются с трудом и не пассивируют его). Образующиеся защитные пленки устойчивы, как правило, при повышенных значениях  $\text{pH}$ . Поэтому кислые соли, понижающие  $\text{pH}$  раствора, обычно ускоряют коррозию, а основные – замедляют.

Ускорение коррозии с повышением концентрации солей в разбавленных электролитах связывают с увеличением концентрации анионов, образующих растворимые продукты коррозии, либо с повышением электропроводности.

Рассматривая воздействие газов, следует особо отметить агрессивность окислов азота  $\text{NO}, \text{NO}_2, \text{N}_2\text{O}$  и хлора  $\text{Cl}$ , которые в присутствии влаги вызывают сильную коррозию арматуры.

**Виды разрушений арматуры в бетоне.** Разрушение арматуры в бетоне может иметь характер язвенного поражения ее отдельных участков либо равномерного уменьшения сечения по всей поверхности. Последнее более характерно и возникает вследствие перехода слоев металла в продукты коррозии в результате образования микропар, имеющих катодные участки меньшей площади, чем анодные. Такое явление наблюдается в карбонизованном или другом непассивирующем бетоне. В тех случаях, когда площадь катодных участков превышает площадь анодных, на арматуре появляются отдельные пятна – язвы. Язвенная коррозия арматуры образуется при неравномерном проникновении в бетон хлоридов, разрушающих пассивирующую пленку на поверхности арматуры. Более опасна язвенная



коррозия арматуры, так как при ней местное уменьшение сечения арматуры происходит значительно быстрее.

Особенно опасна язвенная коррозия арматуры в предварительно напряженных конструкциях, где для армирования бетона используют высокопрочную проволоку. Вследствие малого поперечного сечения и высокого уровня напряжения проволоки от язвенных поражений могут происходить ее разрывы.

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях присутствует особый вид коррозии арматуры – **коррозия под напряжением**. Она проявляется в виде трещин, развивающихся перпендикулярно направлению главных растягивающих напряжений, т. е. поперек элемента.

Напряженная арматура электрохимически является более активной, чем ненапряженная, и, следовательно, может более интенсивно корродировать. При этом общая коррозия напряженного металла может идти быстрее, чем ненапряженного. Считается, что влияние напряжений ниже предела текучести на коррозию стали незначительно, так как при этом электрохимическое состояние поверхности не изменяется (смещение потенциала составляет 2–3 мВ). Заметное влияние напряжений на уровне предела текучести и выше связано с разрушением естественных защитных оксидных пленок и существенным разблагораживанием поверхности стали.

Под влиянием напряжения, составляющего 70 % предела текучести прочности стали, электродный потенциал арматуры в насыщенном растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 3 %-м растворе  $\text{NaCl}$  и в бетоне снижается на 68–100 мВ. По-видимому, это вызывается разрушением оксидной пленки при изгибе образцов, претерпевающих пластическую деформацию. Изменение потенциалов стали в насыщенном растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также с добавкой в него 2 %  $\text{CaCl}_2$ , показывает, что пассивация напряженной арматуры более затруднена.

При упругой деформации стали площадь анодных участков, возникающих в результате механического разрушения оксидной пленки, невелика. Высокая плотность тока, создающаяся на микроанодах в результате работы локальных микропор типа пленка-пора, вызывает их анодную поляризацию и возврат стали в пассивное состояние. При пластической же деформации площадь анодных участков резко возрастает, создающейся плотности тока на микроанодах недостаточно для их пассивации, и сталь остается в активном состоянии.

В отличие от применяемых для обычных конструкций горячекатаных – арматурных сталей с высокой пластичностью высокопрочные стали для предварительно напряженных конструкций склонны к хрупкому коррозионному разрушению вследствие особенностей своей структуры и пониженной пластичности.

Анализ опубликованных в иностранной литературе сведений о связанных с коррозией хрупких обрывах арматуры показал, что в 38 случаях из 63 обрыв произошел в течение одного года эксплуатации, причем часто это сочеталось с недостаточной защитой стали до бетонирования, а в 28 случаях корродирующая арматура разрушилась до обетонирования. В 25 случаях (из 35) отмечена повышенная пористость бетона и недостаточная толщина защитного слоя. При этом в 12 случаях в бетоне или цементном растворе для инъекции каналов обнаружено большое количество хлоридов или сульфидов.

В большинстве случаев отмечено наличие не менее двух причин повреждения, причем чаще всего наблюдались повреждения агрессивной средой стали или бетона. Примерно в 40 случаях (из 63) установлено коррозионное действие на сталь среды, содержащей хлориды или соединения серы, в 13 случаях – дефекты в изготовлении или обработке стали, нарушение правил перевозки. Хрупким коррозионным разрушениям подвергались как холоднотянутая проволока, так и термически упрочненная закалкой с низким отпускком.

Влияние коррозионных поражений поверхности металла на механические свойства аналогично действию концентраторов напряжений, которые локализируют пластическую деформацию в небольшом объеме металла. У пластичных мягких сталей около этих очагов поражений происходит перераспределение напряжений. Поэтому их чувствительность к коррозионным поражениям существенно меньше, чем высокопрочных сталей с малой пластичностью, длительно сохраняющих концентрацию напряжений в пораженных местах, а также имеющих значительное число дефектов структуры и высокие внутренние напряжения.

При локализации коррозионных поражений в высокопрочной арматуре остаточные деформации снижаются более резко, чем при общей коррозии. Обрыв арматуры происходит на участке язвенного поражения, где быстро достигается так называемый условный предел текучести. При этом остаточные удлинения всего образца весьма малы. Обычно локализованная коррозия арматуры наблюдается в трещинах бетона.

При местном язвенном поражении предварительно напряженной арматуры в бетоне нельзя ожидать заметного общего ее удлинения и прогиба конструкции даже непосредственно перед ее разрушением. Это подтверждается обстоятельствами аварий конструкций вследствие язвенной коррозии пучковой арматуры из высокопрочной проволоки. Характерно, что при коррозии тонкой проволочной арматуры внешние признаки в виде растрескивания и откалывания защитного слоя бетона, наблюдавшиеся обычно при коррозии стержневой арматуры и сигнализирующие об опасности, могут не появиться.

Из опыта строительства сооружений (в основном мостовых) из конструкций с натяжением высокопрочной, главным образом

проволочной, арматуры на бетон известно немало случаев хрупкого обрыва проволок в пучках, натянутых в закрытых каналах, по условиям производства работ, длительное время не инъецировавшихся цементным раствором.

В щелочных и нейтральных средах уровни напряжения в арматуре влияют на скорость коррозии весьма незначительно. Выявлена линейная зависимость скорости коррозии от величины напряжения арматуры, когда в кислых средах происходит электрохимическая коррозия с выделением водорода.

**Коррозийное растрескивание** представляет собой процесс, происходящий в условиях одновременного воздействия на металл статических растягивающих напряжений и электрохимического коррозионного процесса. В этом случае коррозионная среда и механические напряжения действуют одновременно, вызывая при этом значительно большую потерю прочности металла, чем при раздельном действии.

По современным представлениям такое разрушение может происходить в результате избирательного растворения отдельных структурных составляющих металла, его водородного охрупчивания, а также снижения его поверхностной энергии при адсорбции поверхностно-активных компонентов среды.

Очевидно, что вклад перечисленных процессов может быть разным на стадии зарождения и развития коррозионных трещин для различных систем металл – среда в зависимости не только от свойств среды и металла, а и от особенностей их взаимодействия, степени напряжения, геометрии поверхности.

В процессе изготовления и эксплуатации железобетонных конструкций возможны разнообразные сочетания влияющих факторов и могут действовать как смешанные, так и меняющиеся процессы, влияющие на стадию зарождения иначе, чем на стадию развития трещины.

Чувствительность к коррозии под напряжением тем выше, чем больше метастабильность фаз, из которых состоит сталь. Особенно увеличивает склонность к коррозионному растрескиванию термическое упрочнение типа "закалка плюс средний отпуск".

Сравнительная проверка по ускоренной методике отечественной высокопрочной стержневой арматуры показала, что все виды термоупрочненной стали классов S500–S1200 (Ат-IV, Ат-V и Ат-VI), включая термомеханически упрочненную с прокатного нагрева, в высокой степени склонны к коррозионному растрескиванию. При растягивающем напряжении (около 70 % предела прочности) время до хрупкого обрыва стержня составляет от 1,5 до 3 ч при ускоренном испытании в кипящем растворе нитратов ( $57\% \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 6\% \text{NH}_4\text{NO}_3 + 37\% \text{H}_2\text{O}$ ), который обычно применяется

для оценки сравнительной склонности углеродистых сталей к коррозионному растрескиванию.

Результаты исследований сравнительной стойкости против коррозионного растрескивания различных видов высокопрочной стержневой арматуры позволили установить, что горячекатаная арматура класса S500 (A-IV, марок 80С и 20ХГ2Ц) имеет удовлетворительную стойкость; горячекатаная класса S800 (A-V, марки 23Х2Г2Т) – пониженную стойкость; термически упрочненная всех классов – нестойка; а защита от коррозии должна усиливаться с увеличением класса арматуры.

Помимо этого арматурные стали разрушаются вследствие так называемого **водородного охрупчивания**. Внешние признаки разрушения у рассмотренных двух видов коррозии идентичны, но природа их возникновения различна. При водородном охрупчивании образуются поперечные трещины и происходят хрупкие обрывы напряженных элементов.

Охрупчивание стали объясняется образованием при коррозионных процессах атомарного водорода, который, диффундируя в сталь и объединяясь в молекулы, теряет способность растворяться в стали. Вследствие этого в ней создается большое внутреннее давление. Водородное охрупчивание металлов возможно также вследствие выделения водорода на катоде при работе гальванических пар и при катодной защите. Возникающие при этом значительные местные напряжения вызывают быстрое развитие трещин, заканчивающееся хрупким обрывом.

Опасность снижения прочности высокопрочной арматуры велика в конструкциях тех промышленных зданий, где в процессе производства выделяется сероводород или используются растворы роданистого аммония.

#### 5.6.4 Деревянные конструкции

Органическая часть любой древесины содержит примерно постоянное количество углерода (49,5–51 %), водорода (6,1–6,3 %), азота (0,1 %) и кислорода (почти 44 %). Минеральная часть древесины (зола) составляет 0,3–1 % (а иногда и больше) ее массы. В нерастворимой в воде части золы преобладают соединения кальция (углекислый кальций), а в растворимой – соединения калия (углекислый калий, или поташ). Постоянством элементного состава объясняются одинаковая теплотворная способность единицы массы древесины разных пород. В то же время из одних и тех же исходных веществ в растущих деревьях различных пород образуется неодинаковое количество конечных соединений, входящих в состав клеточной стенки древесины. Поэтому химические свойства древесины различных пород неодинаковы.

Основными составными частями **древесины любой породы** являются целлюлоза, гемицеллюлозы и лигнин.

**Целлюлоза** – полисахарид регулярного строения, макромолекулы которого состоят из звеньев  $\beta$ -D-глюкопиранозы, соединенных гликозидными связями.

**Гемицеллюлозы** – нецеллюлозные полисахариды клеточных стенок, условно подразделяемые на пентозаны и гексозаны. В **пентозанах** главная цепь макромолекул состоит преимущественно из звеньев пентоз, а в **гексозанах** – из звеньев гексоз.

**Лигнин** представляет собой комплекс ароматических нерегулярных полимеров, построенных из фенилпропановых звеньев.

В древесине содержатся также смолы и терпены, жиры, камеди, дубильные, красящие и некоторые другие вещества.

В настоящее время нет еще полной ясности в вопросе о характеристике связей между основными составными частями древесины, и прежде всего целлюлозы и лигнина. Некоторые ученые считают, что лигнин, неравномерно распределенный в клеточной стенке, смешан с целлюлозой чисто механически; в то же время есть данные, показывающие химическую связь между основными составными частями древесины.

В таблице 5.34 приведен средний химический состав (в процентах) древесины различных пород, произрастающих в Беларуси.

Из таблицы видно, что целлюлоза (клетчатка) составляет около половины массы древесины, лигнин – одну пятую (или немного больше) в лиственных породах и около четверти – в хвойных и, наконец, пентозаны – одну десятую – в хвойных и четверть – в лиственных.

Главное отличие лиственных пород от хвойных по составу заключается в нескольких меньшем содержании целлюлозы и лигнина (а также гексозанов) и в значительно большем содержании пентозанов.

Содержание основных составных частей древесины в деревьях одной и той же породы и в различных частях одного и того же дерева изменяются очень незначительно; содержание других составных частей иногда резко колеблется. Так, в древесине лиственницы содержится от 6 до 25 % веществ, растворимых в воде (лиственничная камедь, представляющая собой полисахарид арабогалактан).

**Таблица 5.34 – Средний химический состав древесины**

В процентах

Порода	Вещества, растворимые в горячей воде	Смолы и жиры	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны
Сосна	4,8	5,4	51,6	25,1	9,7
Ель	3,2	1,9	55,2	27,0	11,2
Пихта	3,0	2,8	50,7	29,3	7,9
Лиственница	12,8	2,4	51,6	24,3	10,3
Береза	2,2	1,2	50,3	19,5	26,4

Осина	3,0	1,5	44,9	22,6	22,7
Бук	1,4	0,9	49,6	21,8	25,6
Клен	1,4	1,6	48,0	93,1	25,0

Обычно содержание камеди тем выше, чем больше возраст дерева: в древостоях до 200-летнего возраста – в среднем 10–12 %, 250–300-летнего возраста – 14 % и более. Содержание смолистых веществ в сосновой древесине изменяются от 2 до 8 %. Сильно колеблется содержание дубильных веществ, или танидов (являющихся в химическом отношении производными многоатомных фенолов – пирогаллала, пирокатехина и флороглюцина): в древесине дуба – 3–9 %, в коре дуба и ивы – 8–14, ели – 7–12, лиственницы – 8–16 %.

Разрушение деревянных конструкций происходит из-за химической коррозии: разложение – под действием кислот целлюлозы древесины, а под действием щелочей – растворение основного цементирующего вещества древесины – лигнина и частично целлюлозы.

В условиях слабокоррозионных сред древесина устойчива. Деревянные конструкции стойки к действию растворов аммиака, гидроксидов кальция, бария и растворов нейтральных солей любой концентрации. Хвойные породы древесины благодаря содержанию смол обладают большей химической стойкостью, чем лиственные породы.

#### **Воздействие на древесину различных факторов внешней среды.**

**Растворители.** Воздействуя на древесину растворителями, из нее извлекают экстрактивные вещества – смолы, камеди, дубильные вещества. При экстракции древесины растворителями строение и состав ее клеточных стенок не претерпевают существенных изменений, поэтому физико-механические свойства остаются практически неизменными. Такую древесину можно использовать для дальнейшей переработки так же, как и натуральную.

**Кислоты.** Хвойные породы древесины достаточно стойки по отношению к действию разбавленных растворов уксусной, фосфорной, молочной, масляной и плавиковой кислот. Соляная кислота концентрацией до 10 % и серная кислота концентрацией не более 5 % практически не изменяют их структуру и физико-химическое строение. Концентрированные кислоты разрушают деревянные конструкции, особенно интенсивно кислородсодержащие (азотная, серная, хромовая и др.). Интенсивность разрушительного действия увеличивается с повышением температуры кислот.

Кислоты оказывают на полисахариды древесины гидролизующее действие. При гидролизе древесины образуются соответствующие простые сахара – моносахариды (из целлюлозы – глюкоза, из ксилана – ксилоза и т. д.), вследствие чего процесс кислотного гидролиза древесины часто называют *осахариванием*; лигнин остается при этом в виде нерастворимого остатка. Концентрированные кислоты осахаривают

древесину без нагревания; при этом полисахариды набухают и быстро растворяются в кислоте.

**Щелочи.** Растворы едких щелочей разрушают древесину менее интенсивно, чем кислоты. Слабые растворы щелочей позволяют извлекать из древесины смолистые вещества и могут взаимодействовать с лигнином и гемицеллюлозами. Концентрированные щелочи действуют на древесину значительно сильнее, особенно при длительном нагревании под давлением. В последнем случае древесина практически полностью растворяется в щелочах с образованием органических кислот (уксусной и муравьиной), газов и смолы.

**Влага.** От влажности древесины зависят ее прочность и долговечность, а также масса изготовленных из нее изделий. Например, 1 м<sup>3</sup> свежесрубленной древесины дуба весит 1,04 т, а в воздушно-сухом состоянии – 0,76 т, сосны – соответственно 0,82 и 0,52, ели – 0,8 и 0,47 т. Общая влажность свежесрубленной древесины хвойных пород обычно равна 45–50 % , мягких лиственных – 40–50, твердолиственных – 30–45 %. Древесина хорошо впитывает влагу из воздуха; при этом она разбухает, увеличивается в объеме, имеющиеся в теле древесины небольшие трещины исчезают.

Способность высушенной древесины поглощать водяные пары называется *гигроскопичностью*. Гигроскопичность древесины различных пород почти одинакова. При относительной влажности воздуха 100 % и температуре 20 °С влагоемкость древесины сосны и дуба составляет 29–30 % , при 90 % – 21–22 % , при 50 % – 9–10 % . Абсолютно сухая древесина увеличивается в объеме при увлажнении до достижения так называемой точки насыщения волокон (при 25–30%-й влажности древесины).

При высыхании, как и при набухании, древесина коробится и часто растрескивается. Такая древесина обладает пониженной механической прочностью и непригодна для использования в качестве конструкционного материала.

Воздействие на древесину дереворазрушающих грибов и насекомых рассмотрено в п.7.7.1 и 7.7.2.

#### **5.6.5 Полимерные конструкции**

Конструктивные элементы из полимерных материалов под воздействием агрессивной среды могут подвергаться ускоренному износу в зависимости от характера и интенсивности факторов, вызывающих этот износ. Разрушение полимерных материалов является результатом преодоления сил взаимодействия между атомами или молекулами, которое происходит под влиянием окислительных агентов, термического, радиационного, механического воздействия и других энергетических факторов. Результатом указанных воздействий являются деструктивные процессы, поэтому в отличие от металлов и бетона термин «коррозия» к

полимерным материалам неприменим, а используется термин «**деструкция**».

Окислительная деструкция полимеров происходит при действии на материал кислорода или озона. В условиях эксплуатации конструктивных элементов кислород воздействует на полимеры при одновременном влиянии солнечного излучения, влаги и температурных колебаний. Вследствие этого изменяется структура полимеров, что называется *старением*.

Скорость окислительной деструкции определяется интенсивностью присоединения кислорода к некоторым звеньям макромолекул, в результате которого в полимере образуются различные функциональные группы – гидроксильные, карбонильные, карбоксильные и др. Наибольшее влияние на скорость деструкции оказывают образующиеся в процессе окисления пероксидные и гидропероксидные группы, которые вызывают вторичные реакции, приводящие к разрушению полимера. Скорость образования пероксидных и гидропероксидных групп увеличивается с повышением концентрации кислорода в окружающей среде и температуры воздуха. Облучение светом, и особенно ультрафиолетовой частью спектра, значительно ускоряет окислительную деструкцию.

Термическая деструкция происходит под действием теплоты. Вместе с тем этот вид деструкции может протекать одновременно с воздействием на материал кислорода. Тепловое воздействие на полимерные конструктивные элементы, как правило, сопровождается изменением химического состава звеньев макромолекул, кратности связей, перегруппировкой атомов, появлением новых функциональных групп, а также деполимеризацией. Термическая деструкция может вызвать полное разложение полимерного конструктивного элемента – вплоть до образования мономеров.

Радиационная деструкция полимеров происходит под влиянием излучений – рентгеновских, протонных, нейтронных и др. Действие излучений высоких энергий на полимеры проявляется в возбуждении и ионизации отдельных звеньев макромолекул. Возбуждение, т. е. переход электронов на более высокий уровень, делает макромолекулы менее устойчивыми, облегчая деструкцию под действием других факторов.

В зависимости от типа полимера и интенсивности действия различных факторов, сопровождающих облучение, деструкция может протекать с выделением различных низкомолекулярных газов: водорода, хлора, азота, метана, оксида и диоксида углерода.

Механическая деструкция протекает под действием статических и динамических нагрузок. Под влиянием этих нагрузок макромолекулы скользят одна относительно другой и их ковалентные связи разрываются в местах наибольшей концентрации напряжений, поэтому процесс сопровождается вязким течением материала. Механическая деструкция полимерных материалов при отсутствии кислорода отличается от



термической и радиационной составом продуктов распада: отсутствием газообразных веществ – осколков цепей макромолекул.

Биологическая деструкция, как правило, вызывается плесневыми грибами. Пигменты, выделяющиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, окрашивают материал в различные цвета. Плесень вызывает конденсацию на поверхности конструкции влаги, минерализованной растворенными в ней газами и частицами пыли, которые содержатся в воздухе. Биокоррозия полимерных материалов рассмотрена в подразд. 7.4.

Под влиянием вышеперечисленных факторов свойства таких конструкций с течением времени изменяются: теряется эластичность, повышается жесткость и хрупкость, снижается прочность. Повышение жесткости и хрупкости может происходить в результате не только деструкции, но и сшивания (агрегирования) макромолекул. Нередко деструкция и агрегирование происходят одновременно.

Как известно, полимеры получают полимеризацией (последовательным соединением) большого числа молекул низкомолекулярного вещества (мономера) к активному центру, находящемуся на конце растущей цепи. По числу мономеров различают гомополимеризацию (один мономер) и сополимеризацию (не менее двух мономеров). Существуют две конфигурации макромолекул – линейная и глобулярная.

По отношению к химически агрессивным средам полимеры подразделяются на гетероцепные (в основной цепи молекулы содержатся кислород, азот, сера и др.) и карбоцепные (образованные только атомами углерода). *Гетероцепные* полимеры (полиамиды, тиоколы, силоксаны, полиэферы и др.) сравнительно легко распадаются под действием горячей воды, кислот и щелочей.

*Карбоцепные* полимеры (в целом более стойкие к агрессивным средам) по коррозионной стойкости подразделяются на три группы:

– полученные из предельных углеводородов, среднестойкие по отношению к агрессивным средам (полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен и др.);

– синтезированные из предельных углеводородов с заместителями и элементами структуры, увеличивающими стойкость к агрессивным средам; в качестве заместителей часто применяют фтор (политетрафтор-этилен), хлор (трифторхлорэтилен, хлорсульфированный полиэтилен), бензол (полистирол); такие полимеры стойки к кислотам, слабым окислителям, а фторзамещенные – и к сильным окислителям;

– синтезированные из углеводородов с элементами структуры, уменьшающими их стойкость к агрессивным средам; такими элементами являются двойные связи между элементами молекул, которые легко взаимодействуют с кислородом, галоидами, кислотами

(полиизопреновый, полибутадиеновый, бутадиенстирольный, бутадиеннитрильный каучуки и др.).

Устойчивость полимерных материалов к воздействию факторов внешней среды принято характеризовать атмосферостойкостью.

**Атмосферостойкость** – это способность полимерных материалов выдерживать воздействие различных атмосферных факторов (солнечная радиация, тепло, кислород воздуха, влага, промышленные газы и др.) в течение продолжительного времени без значительного изменения внешнего вида, а также эксплуатационных свойств (физико-механических, диэлектрических и др.). В большинстве случаев эти изменения носят необратимый характер, приводя к старению полимеров. Количественный критерий атмосферостойкости – соотношение значений некоторой выбранной характеристики материала (прочность, относительное удлинение, жесткость, диэлектрические свойства, время до появления трещин или до разрыва) до и после экспозиции.

Различают следующие виды разрушений полимерных покрытий: потеря блеска, изменение цвета, меление, растрескивание, отслаивание, пузыри и сыпь, а также разрушение покрытия вследствие коррозии металла.

Ввиду существенного влияния механических напряжений на процессы старения атмосферостойкость напряженных и ненапряженных полимерных материалов различна. Это особенно характерно для резин, которые в растянутом состоянии под действием атмосферного озона покрываются трещинами, ориентированными перпендикулярно к направлению действующей силы.

Атмосферостойкость полимерных материалов, используемых в виде волокон и пленок, определяется в основном их устойчивостью к фотохимическому воздействию солнечной радиации, которая ускоряет окислительные процессы. Атмосферостойкость массивных ненапряженных и непрозрачных для света полимерных материалов определяется их сопротивляемостью тепловому старению.

У поверхности Земли на атмосферостойкость полимерных материалов наиболее активно влияет ультрафиолетовая часть солнечного спектра с длиной волны 0,29–0,35 мкм. При большей длине волны разрушение может произойти только при одновременном действии химических агентов (например, кислорода), что практически и происходит. Относительная интенсивность излучения для отдельных областей солнечного спектра изменяется в довольно широких пределах в зависимости от высоты стояния Солнца и условий поглощения света в атмосфере. Распределение энергии солнечного излучения в течение года также не остается постоянным.

*Рассмотрим влияние различных факторов на атмосферостойкость.*

При повышении температуры окружающей среды ускоряются как окислительные процессы, так и улетучивание пластификаторов,

противостарителей и т. д., что приводит к изменению исходных свойств, в частности к росту жесткости и хрупкости полимерных материалов. Сильное охлаждение полимерных материалов, находящихся в соприкосновении с другими материалами (например, полимерные покрытия на металлах, резинометаллические изделия), вызывает их растрескивание или отслаивание из-за разности температурных коэффициентов линейного расширения металла и полимера. Наличие в воздухе влаги отрицательно сказывается на атмосферостойкости гидролизующихся полимеров (целлюлозы, полиамидов); в то же время влага несколько улучшает сопротивляемость озонному растрескиванию резин, сорбирующих воду (натуральный и хлоропреновый каучуки). В реальных атмосферных условиях рассмотренные факторы действуют, как правило, все одновременно или в различных сочетаниях.

Наряду с природой самого полимера на атмосферостойкость существенно влияют различные примеси и ингредиенты. Некоторые из таких веществ (например, катализаторы полимеризации, отбеливающие вещества, соли железа, диоксид титана, применяемый для матирования волокон) могут существенно ухудшать атмосферостойкость, сенсibiliзируя фотоокислительные процессы.

**5.6.5.1 Стойкость полимерных материалов к воздействию атмосферных факторов.** Полиэтилен (ПЭ) – наиболее распространённый полиолефин, традиционно считающийся нестойким к воздействию атмосферных факторов. Однако следует отметить, что стойкость ПЭ в значительной мере зависит от солнечного излучения, длительности хранения в складских условиях, пониженных и повышенных температур и т. д. Известно, например, что образцы из блочного ПЭ в виде пластин толщиной 2 мм после 10 лет хранения на неотапливаемых складах в разных климатических зонах сохраняют достаточную стабильность физико-механических свойств. У них не замечено потери массы и какого-либо изменения внешнего вида.

Данные по атмосферостойкости полиэтиленовых покрытий в естественных и лабораторных условиях свидетельствуют о том, что основным фактором, разрушающим полимерные покрытия в условиях действия внешней среды, как и для блочного материала, является солнечный свет. Стойкость покрытий к воздействию излучения различных монохроматических областей солнечного спектра неоднозначна. На образцах, находящихся под фильтром УФС-2 (пропускающим лучи с длиной волны 300–360 нм), через 50 ч возникают поверхностные трещины. Дальнейшее пребывание в камере сопровождается прорастанием трещин до подложки. Влага, имеющаяся в покрытии, способствует образованию коррозии на металле. Появляются очаги отслоения покрытия. Через 150 ч покрытие перестает выполнять защитные функции. В атмосферных условиях на частях образцов, не

защищенных фильтрами, наблюдаются трещины после 6 месяцев экспозиции.

Полиэтилен низкой плотности при температуре окружающей среды 20–30 °С сохраняет эксплуатационные характеристики в течение длительного времени. Он морозостоек при температуре воздуха до –17 °С. На свету и при высоких температурах окружающего воздуха его свойства резко ухудшаются. Так, при эксплуатации конструкций при 80 °С в темноте через 4 месяца полиэтилен полностью растрескивается, на свету скорость деструкции увеличивается.

Изделия из полиэтилена разрушаются обычно не в момент нагружения, а после длительного действия нагрузок в процессе эксплуатации. При этом долговечность полиэтилена зависит от величины нагрузки и особенно от состава окружающей среды. Например, при температуре воздуха 20 °С и окислении кислородом свойства полиэтиленовых конструкций заметно ухудшаются, с повышением температуры скорость окисления полиэтилена увеличивается.

Свойства полиамидов (ПА) существенно зависят от влагопоглощения, обусловленного содержащейся в атмосфере водой. Механизм влияния влаги на ПА точно не установлен, однако бесспорным считается ее пластифицирующее действие при комнатной температуре. Изменяющиеся при этом физико-механические и электрические свойства могут быть частично восстановлены высушиванием. Большую роль в процессах набухания ПА играет надмолекулярная структура. Например, ориентированные и неориентированные материалы ведут себя по-разному.

Кристаллические модификации в ПА взаимнообратимы при определенных температурных условиях. Так, стеклообразные полиамиды, полученные посредством быстрого охлаждения, переходят в кристаллическое состояние, причем кристаллизация значительно ускоряется в присутствии влаги, действующей как пластификатор. Со временем повышается плотность материала, происходит вторичная кристаллизация, сопровождаемая резким, хотя и небольшим, скачком плотности, которая зависит от совершенства кристаллической структуры, образовавшейся в процессе первичной кристаллизации. Одновременно с кристаллизацией протекает процесс диффузии влаги в полимерный материал. На первом этапе (0–400 ч) испытаний преобладает процесс кристаллизации. Затем идет «разрыхление» структуры в связи с уменьшением относительной молекулярной массы, наблюдается снижение микротвердости.

Изменение механических свойств поликапроамида (ПКА) существенно зависит от условий облучения. При действии УФ-излучения в вакууме, а также в присутствии O<sub>2</sub> образцы ПКА желтеют, причем интенсивность окраски возрастает с увеличением продолжительности

облучения. Появление желто-коричневой окраски связано с образованием полисопряженных участков по длине макромолекулы.

ПКА-покрытия более устойчивы к воздействию климатических факторов по сравнению с ПЭ. Первые трещины, наблюдаемые невооруженным глазом, в ПКА отмечены после экспозиции образцов в течение одного года. Однако этому предшествует постепенная потеря блеска, что является первым признаком начинающегося разрушения поверхностного слоя. Изменяются физико-механические и диэлектрические свойства. Исследования ПКА-покрытий показывают, что их надмолекулярная структура также существенно трансформируется, наблюдается растрескивание материала. По мере увеличения времени экспозиции исчезают характерные структурные элементы. Среднечисленная молекулярная масса полимерной основы покрытия уменьшается на 40–50 % по сравнению с исходной. Указанные изменения ПКА-покрытий наблюдаются исключительно на поверхностях, подвергнутых облучению прямым солнечным светом. На поверхностях, подвергавшихся воздействию всех погодных факторов и рассеянной солнечной радиации, описанные изменения после экспозиции в течение трех лет не замечены.

Фактором, разрушающим покрытие в атмосферных условиях, является УФ-излучение ( $\lambda = 300 \dots 340$  нм). На образцах, находящихся под светофильтром, поглощающим УФ-излучение, после 1000 ч не замечено трещин, не обнаружено изменений химической структуры материала. Трещины наблюдались через 700 ч испытаний только на покрытиях, находившихся под светофильтром УФС-2. При фотолизе ПКА-покрытий происходит изменение кристаллической фазы материала.

Оценивая свойства ПКА, необходимо отметить его низкую стойкость к комплексу климатических факторов независимо от климатической зоны эксплуатации.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) считается устойчивым к воздействию атмосферных факторов, в связи с чем применение его чрезвычайно разнообразно: в авиа-, автомобиле-, судостроении, в промышленном и гражданском строительстве и т. д. Максимальное снижение прочности при растяжении и статическом изгибе, а также ударной вязкости органического стекла марок СОЛ и СТ-1 после 10 лет атмосферного старения составляет менее 20 %. При этом приблизительно на 6,5 % уменьшается светопрозрачность материала, который приобретает желтый оттенок.

В условиях хранения на отапливаемых складах в течение 10 лет несколько изменяется прочность при растяжении. Остальные показатели за указанный период почти не изменяются.

На основании опыта эксплуатации стекол в условиях повышенной солнечной радиации можно сделать вывод, что после 600 ч появляются «трещины серебра» (1–2 на 1 см), относительная поверхность поражения составляет 18,5 %. Наблюдаются трещины разного характера, в

основном преобладают трещины длиной менее 1 мм. Их расположение повторяет линии движения расплава при отливке изделия. Дальнейшее воздействие атмосферных факторов вызывает увеличение трещин, их слияние в магистральные и появление новых «трещин серебра».

Фторопласты – конструкционные материалы, стойкие к минеральным кислотам, алифатическим и ароматическим углеводородам, галогенсодержащим растворителям,  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучению, истиранию (по абразивостойкости они приближаются к ПА). Они физиологически безвредны (в США допущены к использованию в изделиях, контактирующих с пищевыми продуктами), имеют пониженную горючесть. Фторопласты (блоки) обладают высокой стабильностью механических свойств при старении. В атмосферных и лабораторных условиях характер изменения их свойств аналогичен. Эти материалы могут быть рекомендованы для эксплуатации на открытом воздухе в районах с тропическим климатом. В условиях действия УФ-излучения в диапазоне 290–400 нм фторопласт в виде волокон теряет упругость и способность к деформации, легко рвется. Пленки окрашиваются и становятся хрупкими, на поверхности появляются трещины. Предел прочности постепенно уменьшается.

Фторопластовые покрытия для защиты металлов вызывают большой практический интерес, так как отличаются чрезвычайно высокой химической стойкостью к различным реагентам при повышенных температурах. Однако нельзя отождествлять стойкость к химическим реагентам с атмосферостойкостью покрытий, их стабильностью к воздействию УФ-излучения. Покрытия на основе фторопластов обладают разной долговечностью в зависимости от физической структуры материала покрытия, которая в свою очередь обусловлена режимами формирования. Наибольшей стойкостью обладают покрытия, подвергавшиеся термообработке по режиму 2 часа выдержки при температуре 140 °С с охлаждением в горячей воде. Покрытия, которые формировались при длительной выдержке, отличаются низкой атмосферостойкостью, поскольку при таких режимах образуются сферолиты значительных размеров, увеличивается вероятность появления разного рода нерегулярностей как в самих сферолитах, так и в общей надмолекулярной структуре.

По сравнению с покрытием из фторопласта-3 и фторопласта-3М покрытия из фторлона-2 обладают большей долговечностью в атмосферных условиях. Покрытия, полученные при разных температурах, имеют сравнительно высокую микротвердость (100–120 МН/м).

Поликарбонат (ПКР) является термопластичным материалом, применяемым в литевых изделиях, листах и изделиях, получаемых экструзией. К основным свойствам ПКР относят высокую ударную прочность, нетоксичность, прозрачность, химическую стойкость, хорошие

электрические и самогасящие свойства, сопротивление ползучести и высокую теплостойкость, а также небольшую усадку при переработке, что облегчает конструирование. ПКР широко используют в оптике, светотехнике и т. д. В связи с этим важны знания о его стойкости к воздействию атмосферных факторов, так как изделия из ПКР должны отличаться стабильностью свойств и размеров в разных условиях эксплуатации.

По сравнению с описанными ранее термопластами ПКР подвержен влиянию влаги в большей степени, чем УФ-излучения. Степень прозрачности ПКР зависит от угла и скорости падения капель; наибольшие изменения происходят при угле падения  $90^\circ$  и скорости 10 м/с.

Покрытия на основе ПКР обладают повышенной стойкостью по отношению к УФ-излучению, они без разрушения выдерживают испытания по стандартному режиму в течение 800 ч. Покрытия из ПЭНД в таких же условиях разрушаются через 100 ч.

При испытаниях в воде для всех выбранных температурно-временных режимов формирования на покрытиях возникают трещины уже через 50 ч. Следовательно, испытания показывают, что разрушение ПКР-покрытий ускоряется при наличии влаги. В естественных условиях покрытия теряют защитные свойства через 14 месяцев. При этом сеть трещин появляется как на облучаемой стороне, так и на необлучаемой. Последнее объясняют тем, что вода, попадая на обе стороны образца, инициирует разрушение покрытий.

В процессе испытаний происходит незначительное изменение микротвердости, блеск после 600 ч уменьшается на 15–20 % по сравнению с первоначальным.

Термореактивные полимерные материалы имеют ряд особенностей, благодаря которым их применяют в основном как матрицы композитных материалов. В качестве армирующих элементов используют стекло- и углеткани, древесные опилки, различные волокна и т. д. В связи с тем, что эти полимеры широко применяют в качестве конструкционных материалов, вопросы влияния на них окружающей среды являются существенными.

Анализ атмосферостойкости свидетельствует о том, что процессы разрушения композитных материалов зависят от типа связующего, вида наполнителя, технологических режимов их получения (температуры и времени формирования), а также от действия комплекса факторов окружающей среды. Например, известно, что в условиях тропического климата прочность стеклопластиков уменьшается на 30 % после экспозиции в течение трех лет.

В результате изучения состояния поверхности образцов стеклопластика на основе эпоксидных диановых (ЭД) смол после атмосферного старения установлено, что на облучаемой стороне

образцов наблюдаются потеря блеска, а также эрозия поверхностного слоя связующего, при длительных испытаниях приводящая к обнажению структуры стеклоткани и увеличению шероховатости поверхности. Такие процессы происходят только в поверхностном слое связующего, поэтому представляют интерес данные по атмосферостойкости образцов, ненаполненных связующих. Испытания таких образцов показали, что под действием атмосферных условий прочность их снижается на 13–15 %.

Исследования надмолекулярной структуры и анализ спектров образцов эпоксидных связующих до и после атмосферного старения позволяют объяснить эрозию поверхностного слоя. Основываясь на имеющихся данных, можно предположить, что под действием солнечной радиации в поверхностном слое связующего происходит вторичное структурообразование. Образование вторичной надмолекулярной структуры из укрупненных элементов способствует появлению микротрещин на границе раздела элементов. При воздействии ветра, дождя и снега свободные частицы отделяются от поверхности и происходит поверхностная эрозия связующих. Характерным видом разрушения стеклопластиков является освобождение волокон от связующего и их отслаивание. Трещины не распространяются вглубь изделия в случае применения стеклоткани в качестве армирующего элемента.

**5.6.5.2 Старение других полимерных материалов.** По стойкости полипропилен несколько уступает полиэтилену. Однако стабилизированный полипропилен вполне пригоден для эксплуатации. По сравнению с другими материалами поливинилхлорид более устойчив к действию сред, но не морозостоек. В помещениях поливинилхлоридные материалы применяют для устройства полов и отделки конструкций. Наиболее перспективны поливинилфторид, фторированный сополимер этилена с пропиленом, хлорсульфированный полиэтилен, полиметилметакрилат и полиформальдегид.

Поливинилфторид даже без стабилизаторов обладает высокой атмосферостойкостью, которая обусловлена прочной химической связью углерод – фтор. Этот материал практически не стареет под действием ультрафиолетовых лучей. Ограниченное применение материала обусловлено его высокой стоимостью. Фторированная этиленпропиленовая пленка в атмосферных условиях также не стареет и обладает достаточно высокой долговечностью. Примерно такая же долговечность у хлорсульфированного полиэтилена.

В машиностроении широко применяют **древесно-полимерные композиты** на основе фенолоформальдегидных смол.

В **древопластиках** при воздействии атмосферных факторов происходят процессы структурирования полимера, выполняющего роль связующего, которые обуславливают возникновение микро- и макротрещин в композитном материале. Излучение солнечного спектра ускоряет



дополнительную структурную перестройку, вследствие чего сокращается интервал времени, необходимый для снижения механических свойств материала.

По стойкости к воздействию атмосферных условий в средней части Европы смолы можно расположить в следующем порядке: фенольные, дициандиамидные, мела-миноформальдегидные. Однако при сравнении атмосферостойкости термопластов и конструкционных материалов на основе терморезактивных полимеров видно, что последние отличаются большей стабильностью свойств и предпочтительнее для использования в изделиях, эксплуатируемых в атмосферных условиях.

**Битумные и битумно-полимерные материалы.** Битумные мастики широко используют для кровельных и изоляционных работ. Механизм разрушения битумных материалов обусловлен их строением. Нефтяные битумы представляют собой дисперсную систему, состоящую из жидких и твердых углеводородов (масел, смол, асфальтенов). Мало различаясь по составу, битумы значительно различаются по физико-механическим свойствам. Мицеллы в битумах имеют размеры 2–10 мкм. При достаточно большом количестве масел и смол мицеллы, состоящие в основном из частиц асфальтенов, находящихся на большом расстоянии друг от друга, свободно перемещаются. Если в системе масел и смол мало, мицеллы притягиваются и образуют пространственную сетку. В процессе эксплуатации битумные материалы подвергаются воздействию окружающей среды, в результате чего значительная часть масел улетучивается. Под действием солнечной радиации и кислорода смолы окисляются, образуя асфальтены и повышая жесткость битума. Битум в процессе старения становится хрупким, растрескивается. От прямого воздействия битумную мастику предохраняет устройство защитных слоев. Иногда для этих целей кровлю окрашивают алюминиевой краской, что снижает интенсивность разрушения кровли от солнечной радиации.

Битумы растворяются в органических растворителях – бензине, бензоле, хлороформе, четыреххлористом углероде, сероуглероде, ацетоне, спиртах, толуоле и др.

Битумы и битумные материалы, в которых применяют кислотостойкие наполнители, устойчивы против действия серной кислоты (с концентрацией не более 50 %), соляной (не более 30 %), азотной (не более 70 %), фосфорной (не более 80 %) кислот.

Длительное воздействие концентрированных водных растворов (с концентрацией не более 50 % едких щелочей и карбонатов щелочных металлов) вызывает интенсивное разрушение битумных конструкций.

## **5.7 Повреждения бетона при воздействии нефтепродуктов**

Агрегатное действие нефтепродуктов на бетон связано с тем, что нефтепродукты, и в частности смазочные масла и охлаждающие эмульсии на их основе, при длительном воздействии на бетон железобетонных конструкций пропитывают бетон и снижают прочность на сжатие, сцепление с арматурой и, следовательно, несущую способность железобетонных конструкций. Бетон, пропитанный маслом, как бы стабилизируется, оставшаяся в нем влага изолируется от непрореагировавших зерен цемента и дальнейшей гидратации их не происходит. Составляющие нефтепродуктов (за исключением отработанного масла) химического воздействия на бетон не оказывают. Однако при длительном воздействии нефтепродуктов на бетон прочность его снижается вследствие ослабления контактов между заполнителями бетона и цементным камнем. Снижение прочности бетона, пропитываемого нефтепродуктами, объясняется содержанием в их составе высокополярных смол и присадок, придающих нефтепродуктам способность легко проникать в мельчайшие поры и трещины и, расклинивая их, снижать сцепление между растворной частью и крупным заполнителем, а также арматурой.

На рисунке 5.17 приведена кривая изменения относительной прочности на сжатие образцов бетона нормальной плотности при хранении их погруженными в смазочные масла.



Рисунок 5.17 – Зависимость прочности бетона на сжатие от времени воздействия минеральных масел

Из графика видно, что после 7–8 лет хранения потеря прочности достигает 60–70 % и в дальнейшем почти прекращается. Степень снижения прочности бетона и сцепление его с арматурой зависят от плотности бетона. Чем больше его пористость, чем меньше возраст бетона, тем быстрее идет пропитка его нефтепродуктами и снижение прочности бетона, сцепления его с арматурой и несущей способности железобетонной конструкции.

Деформация ползучести бетона, пропитанного нефтепродуктами (смазочные масла, мазут, дизельное топливо), под действием длительной нагрузки при напряжениях  $0,4-0,5 f_{cm}$  меньше деформации непропитанного бетона в 4 раза и более. После удаления из бетона пропитывающих его нефтепродуктов деформации ползучести увеличиваются иногда до начальных, а прочность бетона восстанавливается лишь частично.

При длительном действии многократно повторяющейся нагрузки выносливость бетона, пропитанного нефтепродуктами, снижается в несколько раз быстрее по сравнению с непропитанным бетоном.

При пропитывании бетона минеральными маслами, дизельным топливом и мазутом снижение сцепления бетона с арматурой происходит значительно быстрее, чем снижение прочности бетона.

На рисунках 5.18 и 5.19 представлены, соответственно, зависимости изменения во времени сцепления арматуры гладкого и периодического профилей с бетоном, пропитанным минеральными маслами. В течение 2–2,5 лет снижение сцепления происходит на 50–70 %, после чего практически прекращается.

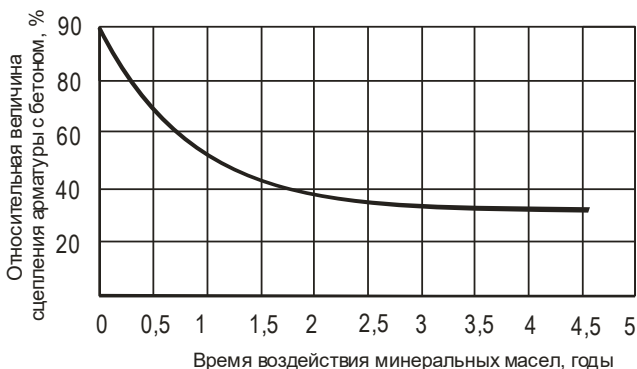


Рисунок 5.18 – Зависимость сцепления арматуры гладкого профиля с бетоном от времени воздействия минеральных масел

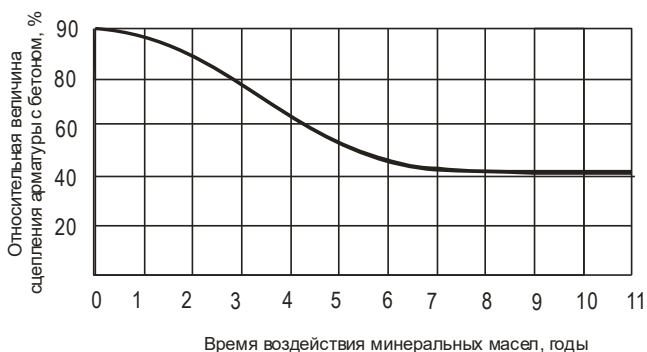


Рисунок 5.19 – Зависимость сцепления арматуры периодического профиля с бетоном от времени воздействия минеральных масел

При полной пропитке бетона в пределах защитного слоя арматуры сцепление бетона с арматурой гладкого профиля снижается до 60–70 %. Увеличения объема (набухания) при пропитке бетона нефтепродуктами (за исключением масляных эмульсий) не происходит, вследствие чего не происходит снижения фильтрации бетона во времени.

При пропитывании бетона отработанным маслом набухание происходит за счет коррозионного действия кислот, находящихся в составе отработанного масла, на гидраты кальция и алюминия с образованием кальциевого и алюминиевого мыла. При этом бетон может полностью разрушиться в течение 1,5–2 лет.

На железобетонные конструкции наиболее сильное коррозионное воздействие оказывают отработанные масла, так как они вызывают коррозию стальной арматуры и закладных частей в конструкциях.

Бетон, пропитанный смазочными маслами, мазутом и нефтью, имеет модуль упругости выше, а деформации на растяжение при изгибе ниже на 10–20 % в зависимости от плотности бетона и вида нефтепродукта. Пропитка бетона бензином и керосином не оказывает влияния на модуль упругости бетона.

## 6 ТРЕЩИНЫ В КОНСТРУКЦИЯХ

---

**О**дним из наиболее часто встречающихся видов дефектов и повреждений каменных, бетонных и железобетонных элементов зданий и сооружений являются трещины.

**Трещина** – дефект, заключающийся в разрыве сплошности материала и выходящий на поверхность элемента.

### 6.1 Железобетонные элементы

Различают трещины, проявившиеся в железобетонных элементах в процессе изготовления, транспортировки и монтажа, и трещины от эксплуатационных нагрузок и воздействия окружающей среды.

К появившимся в доэксплуатационный период относятся трещины:

- усадочные, вызванные быстрым высыханием поверхностного слоя бетона и сокращением объема, а также трещины от набухания бетона;
- возникшие из-за неравномерного охлаждения бетона;
- вызванные большим гидратационным нагревом при твердении бетона в массивных конструкциях;
- технологического происхождения, возникшие в сборных железобетонных элементах в процессе изготовления, доля которых в общем количестве дефектов в сборных железобетонных конструкциях достигает 60 %;
- в сборных железобетонных элементах силового происхождения, вызванные нарушением правил складирования, транспортировки и монтажа, при которых конструкции подвергались силовым воздействиям от собственного веса по схемам, не предусмотренным проектом.

Трещины, появившиеся в эксплуатационный период, можно разделить на следующие виды:

- возникшие в результате температурных деформаций из-за нарушений требований устройства температурных швов или ошибок расчета статически неопределимой системы на температурные воздействия;
- вызванные неравномерностью осадок грунтового основания, что может быть связано с нарушением требований устройства осадочных

деформационных швов, аварийным замачиванием грунтов, проведением земляных работ, в непосредственной близости от фундаментов без обеспечения специальных мер;

– обусловленные силовыми воздействиями, превышающими способность железобетонных элементов воспринимать растягивающие напряжения.

С точки зрения напряженно-деформированного состояния конструкции по влиянию на несущую способность различают трещины:

- указывающие на аварийное состояние конструкции;
- увеличивающие водопроницаемость бетона (в резервуарах, трубах, стенах подвала);
- снижающие долговечность конструкции из-за интенсивной коррозии арматуры (бетона);
- не вызывающие опасений в надежности конструкции.

### **6.1.1 Механизмы разрушения структуры бетона**

Разрушение бетона начинается с разрушения отдельных элементов его структуры, приводя впоследствии в разрушение более крупных структурных объемов.

Можно выделить **два исходных механизма разрушения** (рисунок 6.1):

- отрывной;
- сдвиговый.

Отрыв и сдвиг могут происходить с разрывом зерен заполнителя. Внутризерновые и межзерновые механизмы являются основными в современной статистической теории прочности бетона. Однако под зернами в этом механизме понимают не зерна крупного заполнителя, а некоторые ячейки в структуре бетона, окруженные дефектами, которые могут и не содержать зерен крупного заполнителя. В чистом виде отрывной механизм разрушения реализуется при растяжении, при этом отдельные трещины отрыва, объединяясь в одну, образуют магистральную трещину разрушения.

Чисто сдвиговой механизм разрушения встречается редко, в основном при высоких уровнях трехосного сжатия. В остальных случаях преобладают различные смешанные отрывно-сдвиговые механизмы разрушения:

- зигзаг трещины (см. рисунок 6.1, д);
- ветвления зигзага трещины с включениями клиновидных элементов (см. рисунок 6.1, е);
- в виде часто расположенных трещин отрыва пересекаемых трещиной сдвига (см. рисунок 6.1, ж);
- тонкие части бетона между трещинами, которые могут разрушаться от потери устойчивости (см. рисунок 6.1).

Возможны и другие механизмы разрушений.

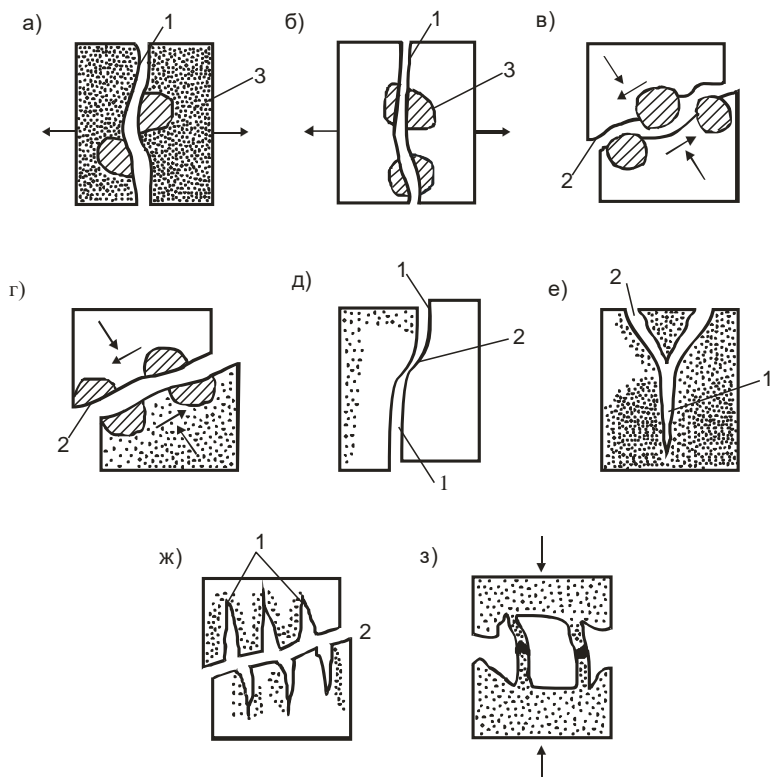


Рисунок 6.1 – Механизмы разрушения структуры бетона:

а, б – отрывной, в, г – сдвиговой, д – з – смешанные механизмы разрушения:

1 – по трещинам отрыва одной части элемента от другой; 2 – по трещинам сдвига одной части элемента относительно другой; 3 – зерна заполнителя

Магистральная трещина может включать на своем пути различные локальные механизмы разрушения. Обычно чем сложнее и разнообразнее механизм разрушения, тем большими деформациями это разрушение сопровождается. Такие механизмы свойственны сжатию. Процесс разрушения бетона, таким образом, представляется, как процесс прогрессирующего разрушения сплошности.

### 6.1.2 Основные причины появления трещин

Наиболее характерными причинами, вызывающими появление трещин в железобетонных конструкциях, являются:

– перегрузка конструкции, вызывающая перенапряжение сечений элементов или большие деформации;

- местная перегрузка участков или сечений конструкций от сосредоточенных сил, передающихся на небольшую зону конструкции;
- усадка материалов при высокой температуре и малой влажности, особенно в период изготовления;
- нарушение сцепления арматуры с бетоном;
- коррозия арматуры;
- резкие перепады температуры, в том числе полив раскаленных конструкций водой;
- низкая прочность материалов;
- нарушения при армировании конструкций: большой шаг стержней, недостаточная анкеровка и т. д.;
- многократные намокания и промерзания конструкций. Попадание воды в каналы конструкций с последующим ее замерзанием, например в многопустотные плиты перекрытий;
- коррозионное растрескивание в агрессивной среде;
- динамические воздействия, вибрация, колебания, удары, взрывы и т. д.;
- резкие перепады сечений в конструкциях, вырезы, отверстия;
- механические повреждения;
- биологические повреждения.

### **6.1.3 Основные характерные трещины в железобетонных элементах**

Исследуя характер распространения и раскрытия видимых трещин, в большинстве случаев можно определить причину их образования, а также оценить техническое состояние конструкции.

Необходимо отметить, что в зависимости от категории трещиностойкости, связанной с условиями эксплуатации, видом (классом) арматуры, напряженным состоянием сечений (растяжение, сжатие) и продолжительностью раскрытия, предельно допустимая ширина раскрытия трещин в условиях неагрессивной среды колеблется от  $a_{crc} < 0,1$  до  $a_{crc} < 0,4$  мм. Для некоторых типов конструкций образование трещин вообще не допускается.

Различают трещины, проявившиеся в железобетонных конструкциях в процессе изготовления, транспортировки и монтажа, и трещины от эксплуатационных нагрузок и воздействия окружающей среды.

**Трещины от силового воздействия** обычно располагаются перпендикулярно действию главных растягивающих напряжений. Основные виды «силовых» трещин представлены в таблице 6.1.

**Усадочные трещины** в плоских конструкциях распределяются хаотично по объему, а в конструкциях сложной конфигурации



концентрируются в местах элементов (узлы ферм; сопряжения полки и ребер в плитах, двутавровых балках и т. д.).

Таблица 6.1 – Трещины в железобетонных элементах

Вид трещин	Форма трещин	Элементы конструкций
Сквозная клиновидная		Внецентренно-растянутые элементы
Сквозная внахлестку		
Несквозная клиновидная		Игибаемые и внецентренно-сжатые элементы
Сквозная параллельными стенками		Центрально-растянутые элементы раскосных ферм
Замкнутая наклонная		Приопорная зона изгибаемых элементов
Несквозная продольная		Предварительно напряженные элементы в зоне анкеровки арматуры. Сжатые элементы

**Трещины от коррозии** проходят вдоль корродирующих арматурных стержней.

Характерными трещинами, возникающими в изгибаемых элементах – балках, являются: трещины, перпендикулярные (нормальные) к продольной оси, трещины вследствие появления растягивающих напряжений в зоне действия максимальных изгибающих моментов, наклонные к продольной оси, которые вызваны главными растягивающими напряжениями в зоне действия существенных перерезывающих сил и изгибающих моментов (рисунок 6.2).

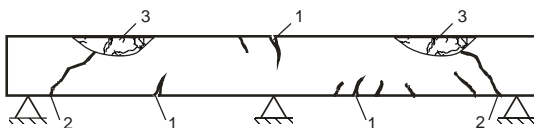


Рисунок 6.2 – Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах, работающих по балочной схеме:

- 1 – нормальные трещины в зоне максимального изгибающего момента, 2 – наклонные трещины в зоне максимальной поперечной силы, 3 – трещины и раздробление бетона в сжатой зоне элемента

**Нормальные трещины** имеют максимальную ширину раскрытия в крайних растянутых волокнах сечения элемента.

**Наклонные трещины** начинают раскрываться в средней части боковых граней элемента – в зоне действия максимальных касательных напряжений, а затем развиваются в сторону растянутой грани.

Раздробление бетона сжатой зоны сечений изгибаемых элементов указывает на исчерпание несущей способности конструкции.

#### **6.1.4 Трещины в балках с обычным армированием**

Характерным для балок является образование нормальных (вертикальных) и наклонных (косых) трещин на боковой поверхности. Причем нормальные трещины возникают в зоне действия наибольших изгибающих моментов, а наклонные – в зоне действия наибольших касательных напряжений, вблизи опор.

Картина трещинообразования балок в основном зависит от расчетной схемы, вида поперечного сечения и напряженного состояния.

На рисунках 6.3, 6.4 показаны «силовые» трещины в одно- и многопролетной балках прямоугольного сечения. Характерно, что нормальные трещины имеют наибольшую ширину раскрытия у растянутой грани, в то время как наклонные – вблизи центра тяжести сечения.

Нормальные трещины с шириной раскрытия более 0,5 мм обычно свидетельствуют о перегрузке балки или недостаточном ее армировании продольной рабочей арматурой.

Наклонные трещины, особенно в зоне анкеровки рабочей продольной арматуры, считаются наиболее опасными, т. к. могут привести к внезапному обрушению балки.

Причинами образования трещин 1 являются: брак при изготовлении (низкий класс бетона по прочности, большой шаг поперечной арматуры, плохое приваривание поперечных стержней к продольным), перегрузка балки по наклонному сечению; трещин 2 – перегрузка балки по нормальному сечению, недостаточное количество рабочей арматуры.

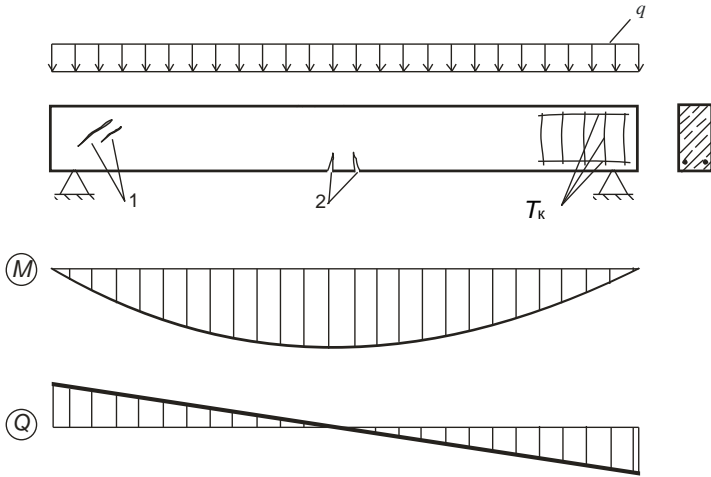


Рисунок 6.3 – Картина трещинообразования в однопролетной балке:  
 1, 2 – «силовые» трещины;  $T_k$  – трещины, образовавшиеся в результате коррозии арматуры

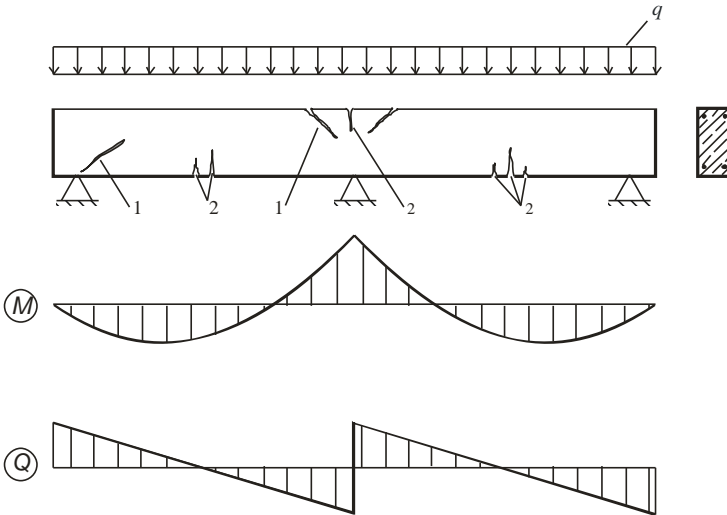


Рисунок 6.4 – Картина трещинообразования в многопролетной балке:  
 1, 2 – «силовые» трещины

**6.1.5 Трещины в предварительно напряженных балках**

Балки, армированные высокопрочной арматурой, изготавливаются предварительно напряженными с повышенными требованиями к трещиностойкости, поэтому появление в них широко раскрытых трещин всегда свидетельствует либо о серьезных технологических недоработках, либо о перегрузках. На рисунке 6.5 приведены характерные трещины в предварительно напряженных стропильных балках.

Причины возникновения указанных на рисунке трещин различны. Так, трещины 1 возникают из-за недостаточной величины предварительного напряжения (большие потери предварительного напряжения) арматуры, или вследствие перегрузки балки по нормальному сечению.

Трещины 2 свидетельствуют о перегрузке наклонных сечений балки (несоответствие класса бетона проекту или его заниженное значение, большой шаг поперечной арматуры) либо о браке при изготовлении (низкий класс бетона по прочности, большой шаг поперечной арматуры, плохое приваривание поперечных стержней к продольным).

Причинами появления трещин 3 являются низкий класс бетона по прочности, перегрузка нормального сечения. Низкий класс бетона по прочности, его недостаточная прочность в момент создания предварительного напряжения вызывают нарушения анкеровки преднапряженной арматуры и трещины 4.

Трещины 5, 6 вызваны силовым воздействием при обжатии бетона напряженной арматуры. Они свидетельствуют о недостаточном косвенном армировании в зоне заанкеривания предварительно напряженной арматуры и низкой прочности бетона на момент обжатия.

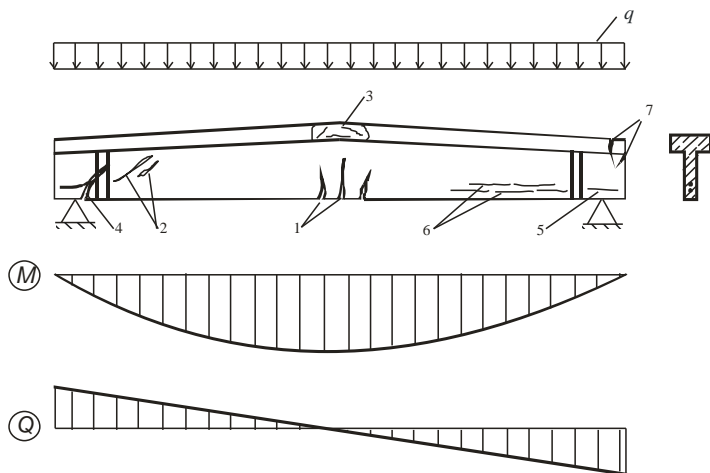


Рисунок 6.5 – Картина трещинообразования в предварительно напряженной стропильной балке:

1–7 – «силовые» трещины

Трещины 7 могут быть вызваны непроектным соединением закладных деталей смежных с балкой конструкций.

### 6.1.6 Трещины в сжатых элементах

Появление продольных трещин вдоль арматуры (рисунок 6.6) в сжатых элементах свидетельствует о разрушениях, связанных с потерей устойчивости (выпучиванием) продольной сжатой арматуры из-за недостаточного количества поперечной (косвенной) арматуры.

Наиболее часто трещины и отслаивание бетона вдоль арматуры железобетонных элементов являются результатом коррозионного разрушения арматуры. В этих случаях происходит нарушение сцепления продольной и поперечной арматуры с бетоном.

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 действия пожара.

Характер трещинообразования ствола железобетонной колонны главным образом зависит от эксцентриситета приложения нагрузки и ее характера. Кроме того, заметное влияние на картину трещинообразования в колоннах оказывают технологические параметры: прочность бетона на сжатие, качество армирования, условия твердения и др.

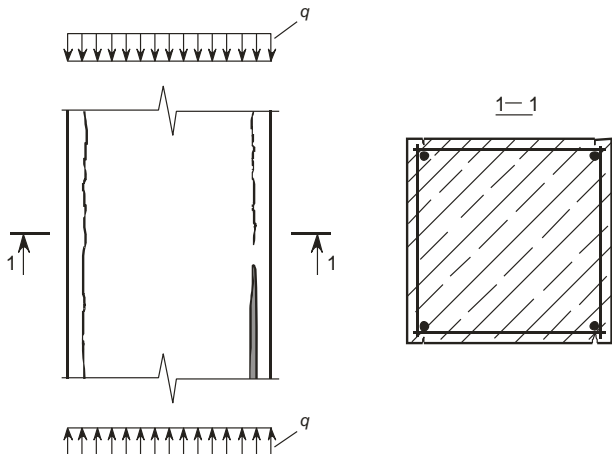


Рисунок 6.6 – Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах

При больших эксцентриситетах в растянутой зоне сечения могут образовываться широко раскрытые трещины, свидетельствующие о перегрузке колонны или ее недостаточном армировании. При малых

эксцентриситетах появляются вертикальные трещины, являющиеся следствием перегрузки колонны или низкого класса бетона. Появление вертикальных силовых трещин часто провоцируется усадочными трещинами, совпадающими с ними по направлению.

Картина трещинообразования в колоннах представлена на рисунке 6.7.

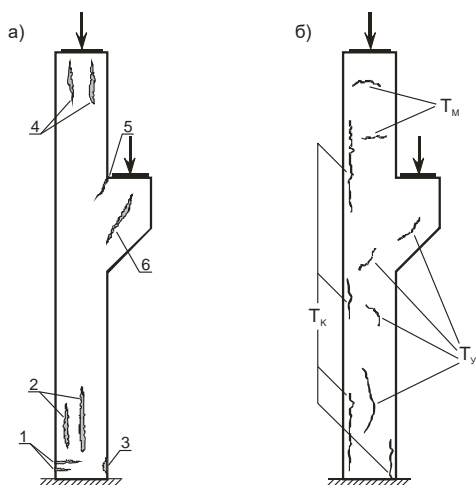


Рисунок 6.7 – Картина трещинообразования в колоннах сплошного сечения:  
 а – трещины от действия эксплуатационных нагрузок;  
 б – трещины от усадки бетона ( $T_y$ ), коррозии арматуры ( $T_k$ ), монтажных нагрузок ( $T_m$ )

Трещины 1 возникают от перегрузки колонны по нормальному сечению, недостаточного количества рабочей продольной арматуры.

Трещины 2 свидетельствуют о перегрузке ствола колонны при малом эксцентриситете нагрузки, низком классе бетона по прочности.

Причинами появления трещин 3 являются большой шаг поперечных стержней, плохое приваривание поперечных стержней к продольным, потеря местной устойчивости сжатой продольной арматуры.

Трещины 4 свидетельствуют об отсутствии косвенного армирования оголовка колонны, низком классе бетона по прочности.

Недостаточное количество продольной арматуры в консоли, перегрузка консоли приводит к появлению трещин 5.

Причинами появления трещин 6 являются недостаточное армирование консоли горизонтальными и наклонными стержнями, низкий класс бетона по прочности, перегрузка консоли.

### 6.1.7 Трещины в стропильных фермах

Трещинообразование в стропильных фермах обусловлено особенностью их статической работы как плоских стержневых конструкций. Соединение элементов фермы в узлах создает предпосылки для концентрации в них разнородных по знаку и характеру

напряжений: сжимающих, растягивающих, касательных. В результате концентрации напряжений узлы подвержены наиболее интенсивному трещинообразованию и требуют значительного расхода арматуры. Большие растягивающие усилия в нижнем поясе приводят к появлению сквозных вертикальных трещин, а сжимающие усилия в верхнем поясе – к появлению несквозных горизонтальных трещин.

**Картина трещинообразования в раскосной стропильной ферме сегментного очертания** представлена на рисунке 6.8.

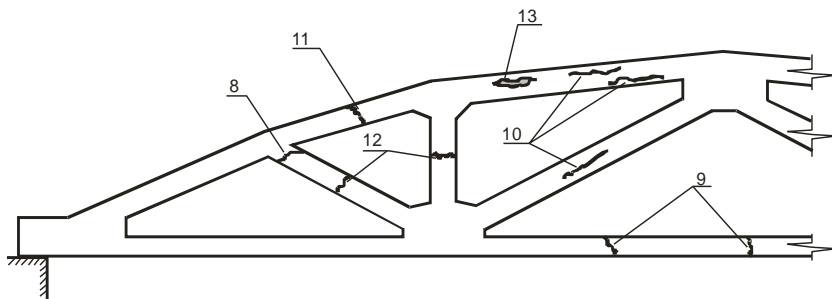
Причинами появления *наклонных* трещин опорного узла являются: трещин 1 – низкий класс бетона по прочности, недостаточное количество поперечной арматуры; большой шаг стержней, малый диаметр арматуры; трещин 2 – недостаточное преднапряжение продольной арматуры, проскальзывание ее в зоне заанкеривания, недостаточное количество поперечной арматуры; трещин 3 – нарушение анкеровки преднапряженной арматуры, низкий класс бетона по прочности, недостаточная прочность бетона на момент обжатия.

*Лучеобразные вертикальные* трещины 4 образуются при недостаточном косвенном армировании от усилий обжатия преднапряженной арматуры.

*Горизонтальные* трещины 5 свидетельствуют об отсутствии косвенного армирования (сетки, замкнутые хомуты) в зоне заанкеривания преднапряженной арматуры, трещины 6 – о низкой прочности бетона на момент обжатия.

*Продольные* трещины в верхнем поясе 7 являются следствием недостаточного косвенного армирования узла поперечными стержнями (сетками).

Причинами появления трещин, *перпендикулярных оси* элементов фермы, являются: трещины 8 – недостаточное заанкеривание рабочей арматуры растянутого элемента в узле фермы, слабое косвенное армирование узла; трещины 9 – недостаточное преднапряжение арматуры нижнего пояса, перегрузка фермы.



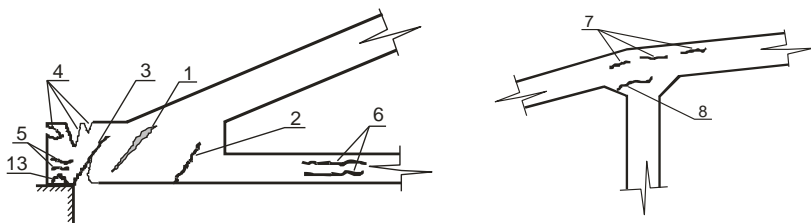


Рисунок 6.8 – Картина трещинообразования в стропильной ферме:  
1–13 – различные типы трещин

*Продольные* трещины в сжатых элементах 10 образуются из-за низкого класса бетона по прочности, перегрузки фермы.

*Монтажные* трещины 11 свидетельствуют об изгибе из плоскости фермы при монтаже, перевозке, складировании.

*Нормальные* трещины 12 в растянутых элементах образуются от перегрузки фермы, смещения арматурного каркаса относительно продольной оси элемента; трещины 13 свидетельствуют об отколе лещадок бетона.

Трещины опорного узла ферм по своей природе близки к трещинам на опорах балок. Появление горизонтальных трещин в нижнем напряженном поясе 6 свидетельствует об отсутствии или недостаточности поперечного армирования в обжатом бетоне. Нормальные (перпендикулярные к продольной оси) трещины типа 9 появляются в растянутых стержнях при необеспеченности трещиностойкости элементов. Причем следует обратить внимание на то обстоятельство, что снижение внешней нагрузки на ферму уменьшает растягивающие усилия в нижнем поясе и приводит к закрытию трещин типа 9, но при этом может вызвать увеличение раскрытия трещин типов 4, 5. Появление повреждений в виде лещадок (13) свидетельствуют об исчерпании прочности бетона на отдельных участках сжатого пояса или на опорах.

#### **6.1.8 Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий**

Характер трещинообразования в плитах и панелях представлен на рисунке 6.9.



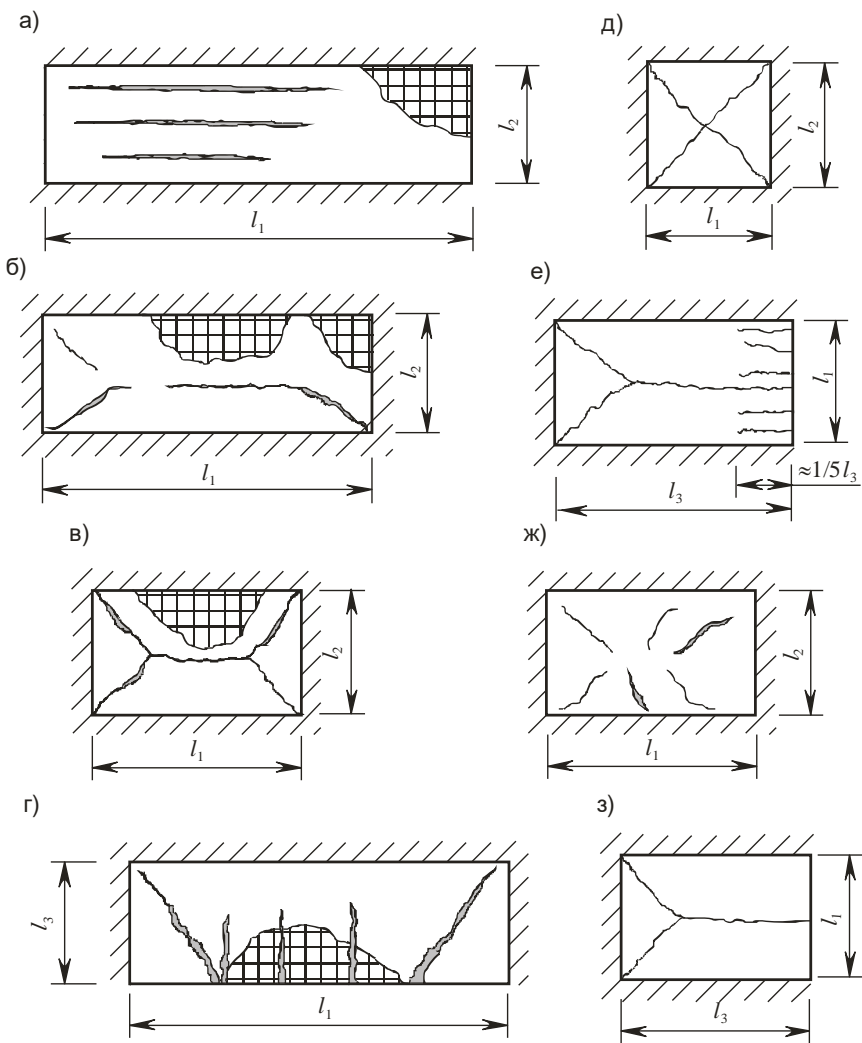


Рисунок 6.9 – Характерные «силовые» трещины на потолочной поверхности плит, нагруженных равномерно распределенной (а – е, з) и сосредоточенной (ж) нагрузками: а – работающих по балочной схеме при  $l_1/b_2 \geq 3$ ; б – опертых по контуру при  $2 < l_1/b_2 < 3$ ; в, ж – то же при  $l_1/b_2 \leq 2$ ; д – то же при  $l_1/b_2 = 1$ ; е – опертых по трем сторонам при  $l_3/l_1 \ll 1,5$  (как правило  $l_3/l_1 = 0,3...0,5$ ); ж – то же при  $l_3/l_1 > 1,5$ ; з – то же при  $l_3/l_1 \leq 1,5$

Перекрытия промышленных предприятий работают в сложных условиях, испытывая технологические перегрузки, ударные и вибрационные воздействия, разрушающее влияние технических

жидкостей и других агрессивных сред, что приводит к их быстрому износу, а следовательно, и появлению трещин. Для плит перекрытий с различным соотношением сторон характерно развитие трещин силового происхождения на нижней растянутой поверхности плит (см. рисунок 6.9). При этом бетон сжатой зоны может быть не нарушен. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты. Как видно из рисунка 6.9, характер трещин, обусловленных силовым воздействием, зависит от статической схемы плиты перекрытия: характера действующей нагрузки, способа армирования и соотношения пролетов. При этом трещины располагаются перпендикулярно главным растягивающим напряжениям. Причинами широкого раскрытия «силовых» трещин обычно являются перегрузка плиты, недостаточное количество рабочей арматуры или неправильное ее размещение (смещение к нейтральной оси).

Одним из наиболее часто используемых железобетонных элементов являются плиты пустотного настила типа ПК.

Характерные трещины в многопустотных панелях перекрытий представлены на рисунке 6.10.

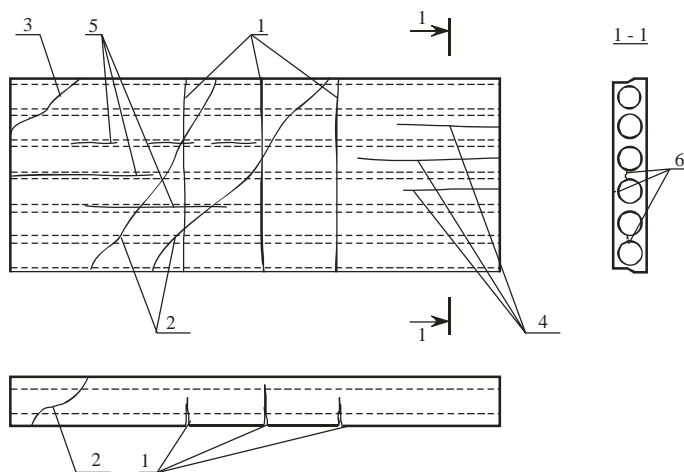


Рисунок 6.10 – Силовые и технологические трещины в многопустотной панели перекрытия:

- 1 – нормальные; 2 – наклонные; 3 – наклонные, вызванные защемлением продольного участка панели; 4 – продольные, вызванные размораживанием бетона в местах расположения пуансонных отверстий; 5 – продольные, вызванные коррозией арматуры; 6 – технологические в ребрах между пустотами, образующиеся при вытягивании пуансонов и продольные трещины в верхней полке вдоль пуансонных отверстий

Силловые трещины 1 в многопустотных панелях свидетельствуют о недостаточной прочности по нормальному сечению.

Сборные ребристые плиты перекрытий (покрытий) типов П, 2Т представляют собой пространственную конструкцию, объединяющую балки (ребра) и плиту. Для плит серий 1.865, 1.465 характерно наличие «втутов» на участках перехода продольных ребер в поперечные. Характер образования трещин в них практически не отличается от ранее рассмотренных балок и плит. Это наглядно видно из картины трещинообразования в ребристых плитах, представленной на рисунках 6.11 и 6.12.

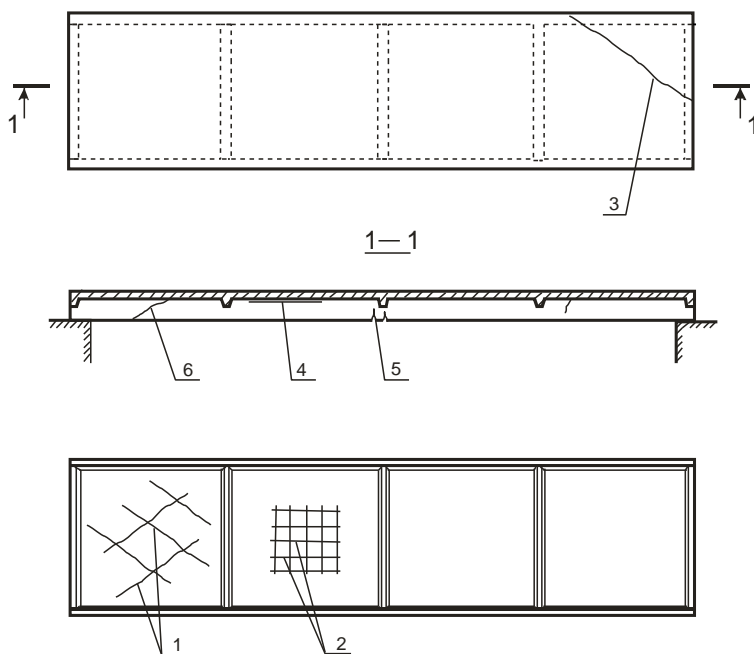


Рисунок 6.11 – Силловые и эксплуатационные трещины ребристой плиты перекрытия (покрытия):

- 1 – различного характера в полке; 2 – коррозионного характера по арматурной сетке; 3 – наклонные по полке, переходящие в продольное ребро, вызванные искривлением плиты в плоскости опирания; 4 – горизонтальные на участке перехода полки в продольное ребро; 5 – нормальные в продольном ребре; 6 – наклонные в продольном ребре

Однако следует заметить, что из-за сложности конструктивной формы плит, насыщенности арматуры в них при изготовлении часто

встречаются и технологические дефекты в виде щелеобразных раковин и усадочных трещин.

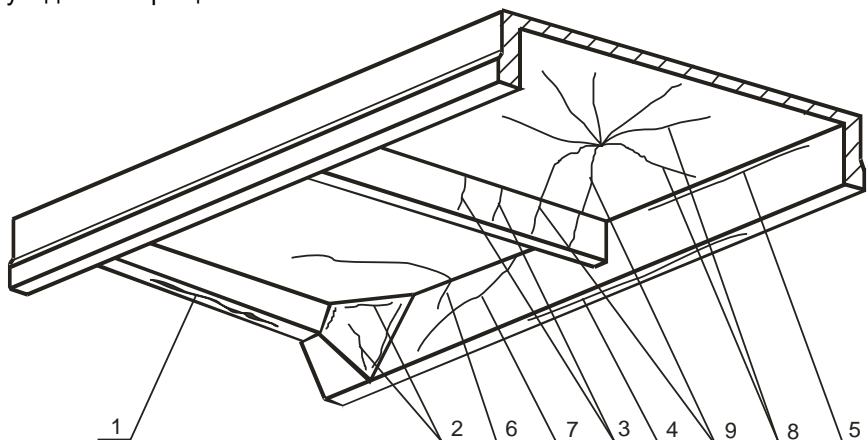


Рисунок 6.12 – Силовые и эксплуатационные трещины ребристой плиты перекрытия (покрытия):

1 – продольные по поперечным ребрам; 2 – различного характера по «вуду»; 3 – нормальные по поперечным ребрам; 4 – продольные в продольном ребре; 5 – горизонтальные на участке перехода полки в продольное ребро; 6 – наклонные по полке, переходящие в продольное ребро; 7 – наклонные по продольному ребру; 8 – наклонные по полке; 9 – наклонные по полке, переходящие в поперечное ребро

К ним относятся трещины, идущие вдоль арматурных стержней и возникающие от разрыва бетонной смеси при вибрировании; продольные щелеобразные раковины под арматурными стержнями от зависания бетонной смеси; трещины от температурной деформации формы при пропаривании; усадочные трещины при жестком режиме тепловлажностной обработки, высоком расходе вяжущего, большом водоцементном отношении.

#### **6.1.9 Трещины в железобетонных элементах, вызванные огневым воздействием**

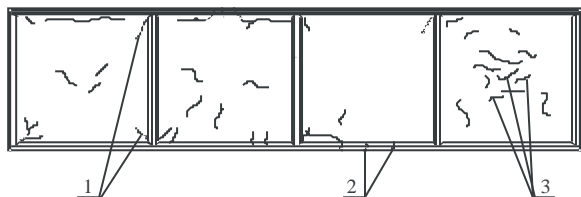
Нагрев железобетонных конструкций при пожаре приводит к различным повреждениям. Характерные трещины в железобетонных элементах от огневого воздействия представлены на рисунке 6.13.

Трещины 1 в стыке ребер плиты с полкой возникают от разности температурных напряжений в сечениях элементов. Широко раскрытые трещины 2, расположенные в пролете изгибаемых элементов, свидетельствуют о снижении прочности рабочей арматуры или потере предварительных напряжений в ней. Беспорядочные температурно-

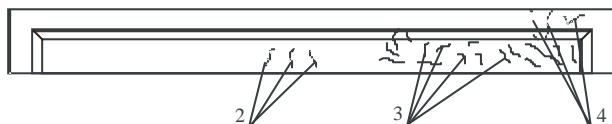
усадочные трещины 3 и 4 возникают на поверхности бетона, поврежденного огнем.

Влияние неглубоких трещин 3 на прочность элементов менее значительно, чем на их долговечность.

а)



б)



в)

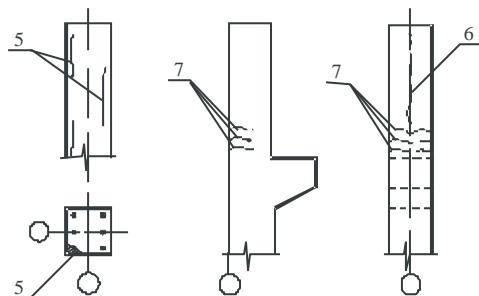


Рисунок 6.13 – Характер образования трещин в элементах железобетонных конструкций от огневого воздействия:

- а – в ребристых плитах покрытий и перекрытий (прогрев снизу со стороны ребер);  
б – прогонах, балках, ригелях; в – колоннах, стойках, элементах ферм

Глубокие трещины 4 в сжатой зоне указывают на снижение прочности железобетонных элементов. Продольные сквозные трещины 5 вблизи углов элементов являются признаком отслоения защитного слоя бетона, наиболее поврежденного двумерным потоком тепла. При простукивании защитный слой бетона не имеет хорошего сцепления с ядром сечения, глухо звучит и отслаивается. Продольные несквозные трещины 6 в

середине стороны сечения пронизывают защитный слой и являются следствием поперечного температурного расширения арматурного стержня. Глубокие, иногда сквозные трещины в стыке двух частей колонн свидетельствуют о значительных температурных перемещениях элементов покрытия и об аварийном состоянии надкрановых частей колонн после пожара.

Наиболее чувствительны к силовому и огневому воздействию консоли колонн. Характер трещинообразования колонн, поврежденных огнем, и разрушения сильно нагруженной консоли представлены на рисунке 6.14.

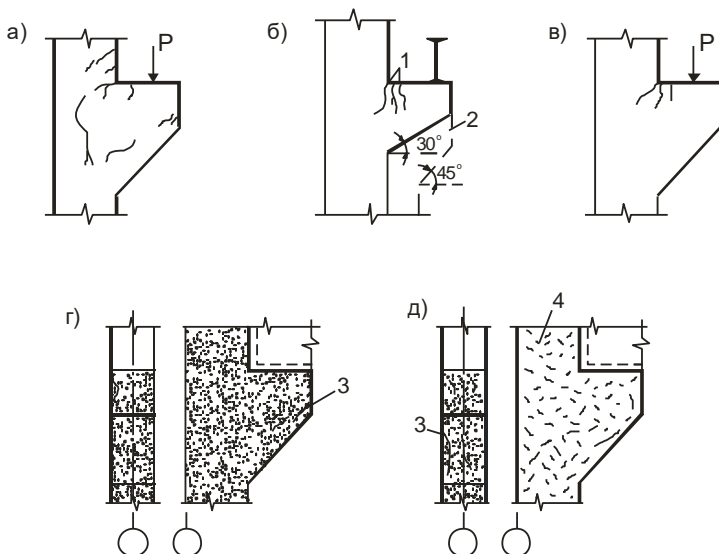


Рисунок 6.14 – Характер образования трещин в коротких консолях железобетонных колонн от огневого воздействия:

а – трещины среза при одновременном исчерпании несущей способности колонны и консоли; б – пример неправильно запроектированной консоли; в – трещины среза от совместного действия нагрузки и огневого воздействия; г, д – повреждения консолей в зависимости от интенсивности и длительности огневого воздействия; 1 – трещины в бетоне за отогнутой арматурой; 2 – контур правильно запроектированной консоли; 3 – сквозные трещины в углах вылета консоли; 4 – температурно-усадочные поверхностные трещины

В коротких консолях железобетонных колонн причиной образования трещин является срез бетона. В некоторых случаях трещины образуются вследствие неправильного конструирования или непроектного приложения нагрузки. В процессе огневого воздействия рабочее сечение колонны уменьшается, из-за чего вылет консоли (плечо приложения нагрузки) увеличивается.

Короткие консоли жестких узлов каркаса после огневого воздействия крупного пожара характеризуются образованием сквозных трещин, отколом защитного слоя бетона, оголением рабочей арматуры и (реже) образованием трещин, вызванных срезом бетона (см. рисунок 6.14, а, б).

## **6.2 Каменные (кирпичные) конструкции**

Трещины в каменных конструкциях являются основным видом их дефектов и повреждений.

### **6.2.1 Основные причины появления трещин**

Кроме указанных выше (разд. 1–5), выделяют и другие факторы, являющиеся причиной возможного образования трещин:

а) низкое качество кладки, т. е. плохие растворные швы, несоблюдение перевязки швов, забутовка с нарушением технологии ее выполнения и т. п.;

б) недостаточная прочность кирпича и раствора (трещиноватость и криволинейность кирпича; высокая подвижность раствора и т. п.);

в) совместное применение в кладке разнородных по прочности и деформируемости каменных материалов (например, глиняного кирпича с силикатным кирпичом или шлакоблоками);

г) использование каменных материалов не по назначению (например, силикатного кирпича в условиях повышенной влажности);

д) низкое качество работ, выполняемых в зимнее время (использование не очищенного от наледи кирпича; применение смерзшегося раствора);

е) отсутствие температурно-усадочных швов или недопустимо большое расстояние между ними;

ж) агрессивные воздействия внешней среды (кислотное, щелочное и солевое воздействия; попеременное замораживание и оттаивание, увлажнение и высушивание);

з) неравномерная осадка фундамента здания.

### **6.2.2 Стадии трещинообразования каменных кладок при сжатии**

Трещины в несущих каменных конструкциях соответствуют стадиям трещинообразования (или стадиям работы кладки при сжатии).

При усилиях в кладке  $F$  меньше усилия, при котором в кладке появляются трещины  $F_{ср}$ , трещины нет, и конструкция, безусловно, имеет достаточную для восприятия существующей нагрузки несущую способность.

При нагрузках  $F \geq F_{ср}$  начинают образовываться трещины. Хорошо известно, что кладка плохо сопротивляется растяжению. Поэтому на растянутых поверхностях (участках) трещины появляются значительно раньше возможного разрушения конструкции.

**Первая стадия** – появление первых волосяных трещин в отдельных камнях. Образование отдельных трещин длиной 15–18 см.

Экспериментально установлено, что усилие  $F_{crc}$  при котором появляются трещины, зависит от вида используемого в кладке раствора, а именно:

– в случае кладки на цементном растворе

$$F_{crc} = (0,6 \dots 0,8) F_U ;$$

– в случае кладки на сложном растворе

$$F_{crc} = (0,5 \dots 0,7) F_U ;$$

– в случае кладки на известковом растворе

$$F_{crc} = (0,4 \dots 0,6) F_U ,$$

где  $F_U$  – разрушающее усилие кладки.

**Вторая стадия** – прорастание и объединение отдельных трещин. Образование трещин длиной 30–35 см через 25–30 см.

**Третья стадия** – разрастание и объединение трещин. Образование трещин длиной 60–65 см через 20–25 см.

**Четвертая стадия** – формирование трещин длиной более 65 см через 15–20 см. Образование больших поверхностей разрушения и истощение прочности кладки.

Последовательность развития трещин в кладке представлена на рисунке 6.15.

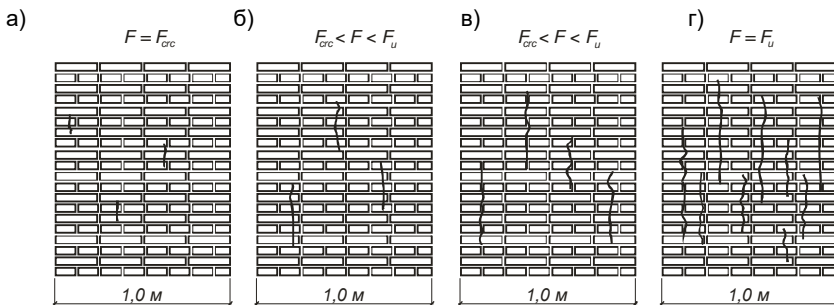


Рисунок 6.15 – Стадии трещинообразования каменной кладки при сжатии:  
а – первая стадия; б – вторая стадия; в – третья стадия; г – четвертая стадия

Анализируя картину трещин в каменной кладке, следует помнить, что появление отдельных трещин в перевязочных камнях свидетельствует о ее перенапряжении. Развитие трещин во второй и третьей стадиях указывает на значительное перенапряжение кладки и необходимость ее срочной разгрузки или усиления.

### 6.2.3 Трещины в кирпичных внецентренно сжатых колоннах



Характер трещинообразования в кирпичных колоннах зависит от величины эксцентриситета приложения силы.

При больших эксцентриситетах в растянутой зоне колонн по неперевязанному шву образуются горизонтальные трещины. С увеличением эксплуатационной нагрузки трещины раскрываются и удлиняются, в результате чего может произойти потеря устойчивости колонны или разрушение ее сжатой зоны.

При малых эксцентриситетах горизонтальных трещин может не быть, однако, если имеет место перегрузка колонны, появляются вертикальные продольные трещины. Картина трещинообразования во внецентренно сжатой кирпичной кладке показана на рисунке 6.16.

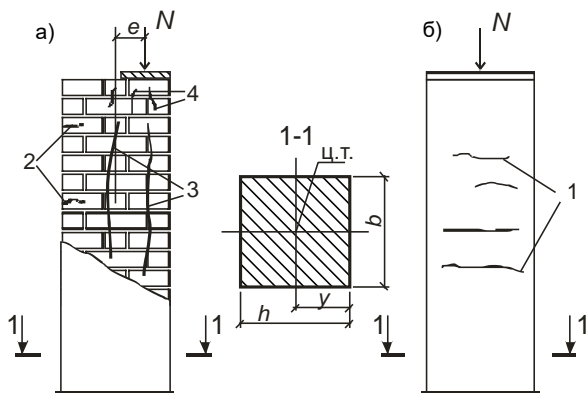


Рисунок 6.16 – Трещины во внецентренно-сжатой кирпичной колонне:

- а – трещины в кладке при перегрузке; б – волосяные трещины на оштукатуренной поверхности колонны: 1 – горизонтальные трещины на оштукатуренной поверхности; 2 – горизонтальные трещины в теле кладки; 3 – трещины от перегрузки сжатой части сечения; 4 – трещины от смятия кладки под сосредоточенной силой

#### 6.2.4 Трещины в кирпичных стенах

Трещины в кирпичных стенах – весьма распространенное явление, причинами которого могут быть как внешние, так и внутренние силовые воздействия, обусловленные особенностями физико-механических свойств кладки и влиянием окружающей среды.

Образующиеся в стенах трещины имеют различную направленность и глубину проникновения в кладку. Так, при центральной сжатии в зоне перегрузки образуются вертикальные, параллельные направлению действующей силы, трещины, распространяющиеся на всю глубину стены. При внецентренном сжатии возможно образование неглубоких горизонтальных трещин, сопровождающихся выпучиванием стены.

Если под концом железобетонной или стальной балки отсутствует распределительная конструкция (армированный слой раствора или железобетонная подушка), то в зоне опирания часто образуются вертикальные неглубокие трещины, свидетельствующие о чрезмерных сжимающих напряжениях в кирпичной кладке.

В зданиях с железобетонными перекрытиями, работающими совместно со стенами, причиной появления трещин может быть разница коэффициентов температурного расширения железобетона и каменной кладки.

Из внешних силовых воздействий, вызывающих интенсивное трещинообразование, особо опасными являются те, которые возникают при неравномерной осадке фундаментов под стенами. Так, в зданиях без подвалов причиной неравномерной осадки может стать рытье траншеи под водопроводно-канализационные сети ниже отметки фундаментов или рытье котлована под новое здание в непосредственной близости от существующего. Увеличивает опасность образования трещин и вибрация грунтового основания в результате близкого производства работ по забивке свай в непосредственной близости от здания. Основной и наиболее массово встречаемой причиной образования трещин при неравномерной осадке фундаментов является увлажнение грунтов основания вследствие протечек водоподводящих и водоотводящих коммуникаций.

На рисунке 6.17 показана картина трещинообразования наружной кирпичной стены.

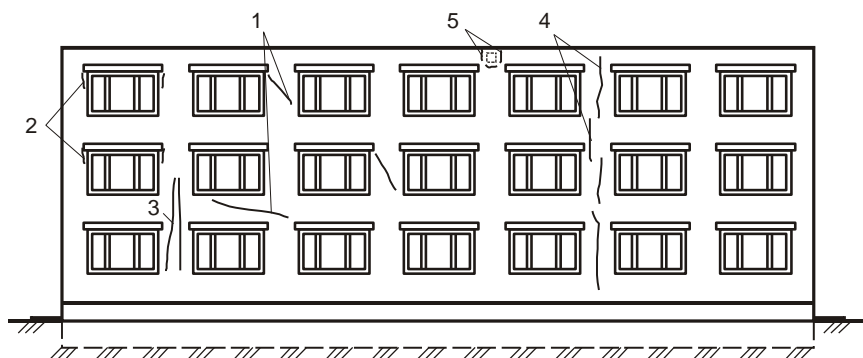


Рисунок 6.17 – Картина трещинообразования наружной стены кирпичного здания:

- 1 – трещины от неравномерной осадки фундаментов (просадки грунта при замачивании; выпучивания при замерзании; осадки от вибродинамического уплотнения);
- 2 – трещины вследствие недостаточной площади опирания перемычки на стену с простенка и низкой прочности каменной кладки;
- 3 – трещины от перегрузки простенка и низкой прочности каменной кладки;
- 4 – трещины по причине большой длины температурного блока или отсутствия температурно-усадочного

шва; 5 – трещина как следствие температурной деформации расширения стального (железобетонного) прогона, опирающегося на простенок

Характер трещинообразования в кирпичных стенах при деформациях зданий от различных причин представлен на рисунках 6.18–6.27.

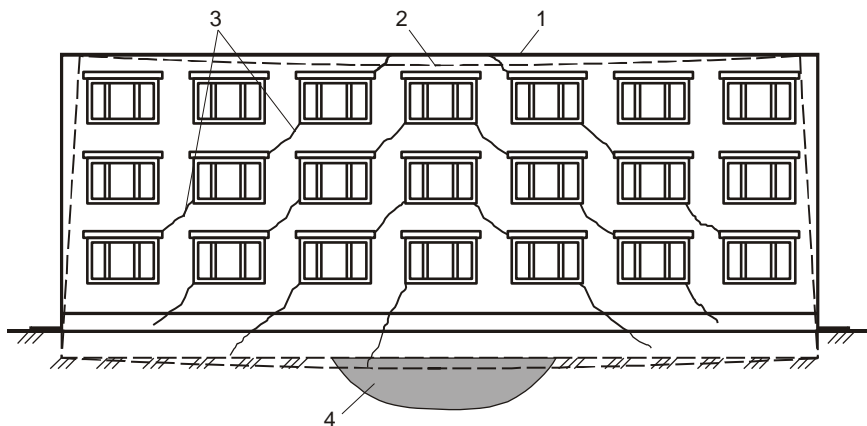


Рисунок 6.18 – Деформации в виде прогиба здания при наличии в основании слабого грунта:

1, 2 – соответственно положения здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – слабый грунт (линза, участок дополнительного замачивания и др.)

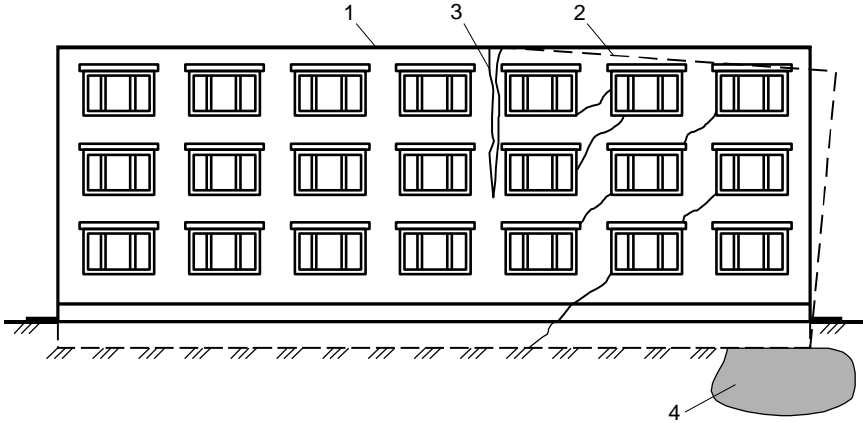


Рисунок 6.19 – Деформации в виде перекоса здания при наличии в основании слабого грунта:  
 1, 2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – слабый грунт (линза, участок дополнительного замачивания и др.)

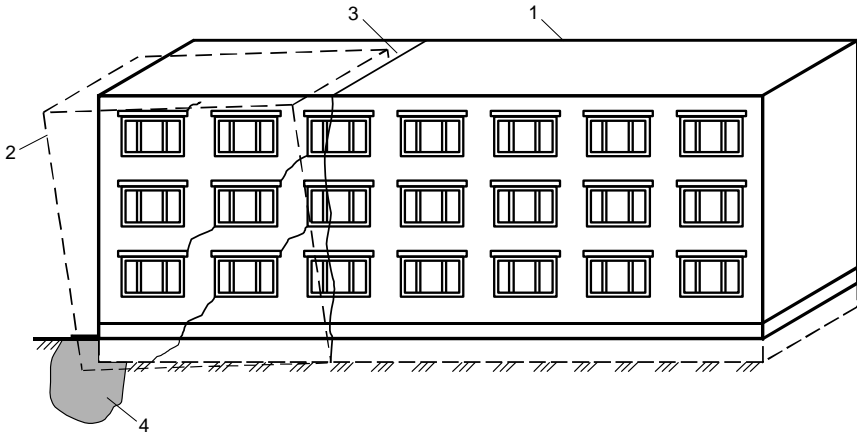


Рисунок 6.20 – Деформации в виде кручения здания при аварийном замачивании основания:  
 1, 2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – аварийное замачивание грунтов в угловой части здания

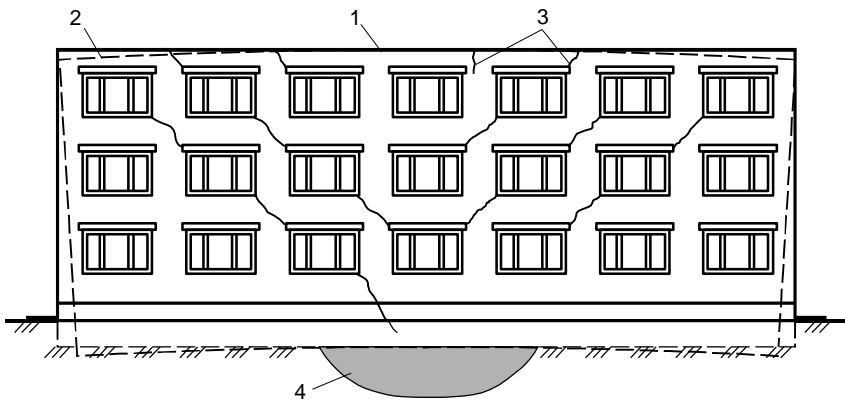
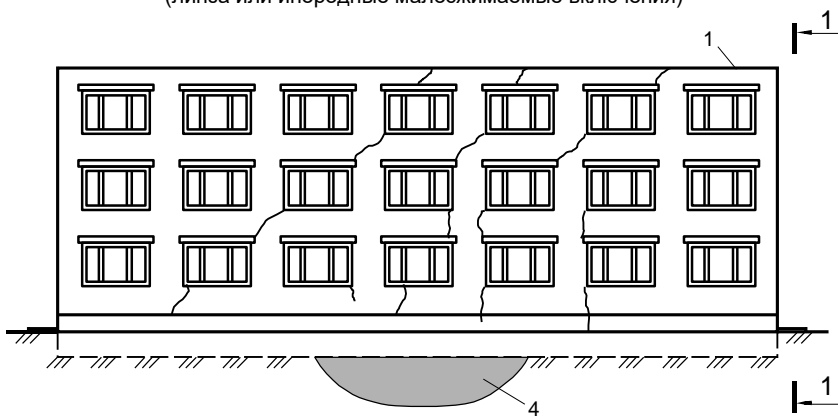


Рисунок 6.21 – Деформации в виде выгиба здания при наличии в основании малосжимаемого грунта:  
 1, 2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкции; 4 – малосжимаемый грунт (линза или инородные малосжимаемые включения)



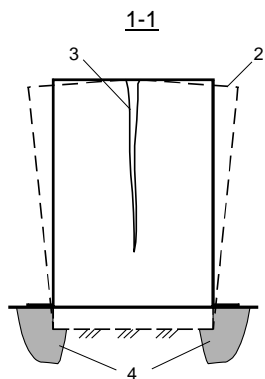


Рисунок 6.22 – Деформации в виде разлома здания при аварийном замачивании основания:  
 1, 2 – соответственно положение здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкции; 4 – аварийное замачивание грунтов основания на различных участках пятна застройки здания

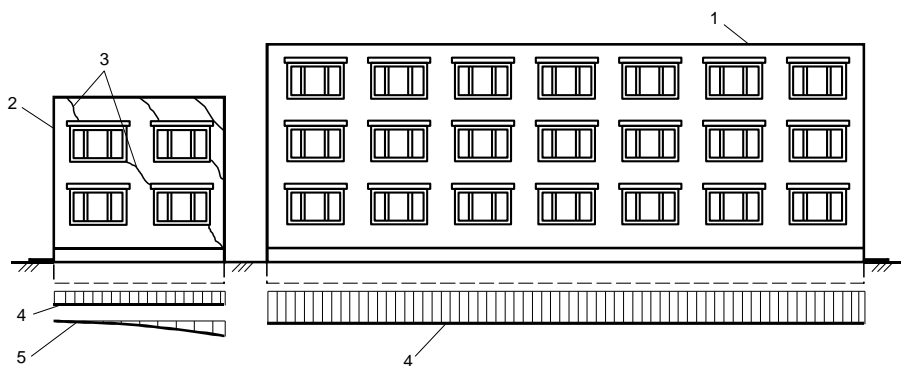


Рисунок 6.23 – Деформации при возведении нового здания возле существующего:  
 1 – возводимое новое здание; 2 – существующее здание; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов; 5 – эпюра дополнительных осадок фундаментов

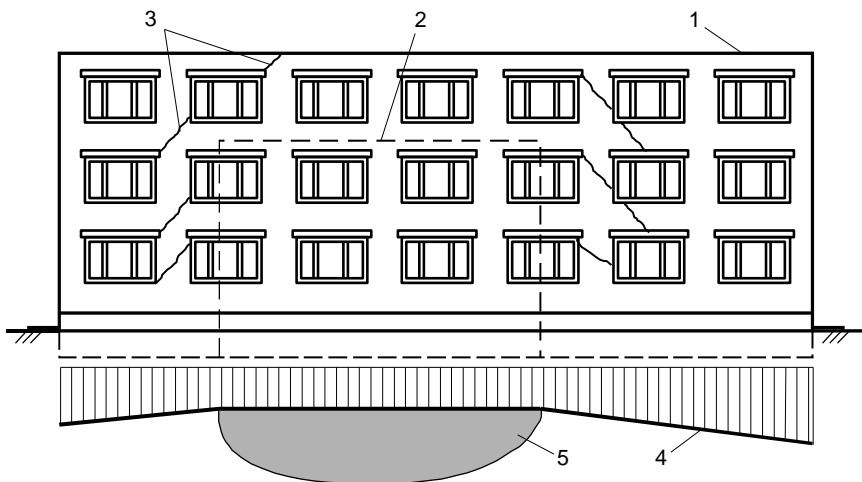


Рисунок 6.24 – Деформации при строительстве нового здания на месте снесенного:

1 – возводимое новое здание; 2 – существующее ранее старое здание; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов нового здания; 5 – граница зоны уплотненного грунта

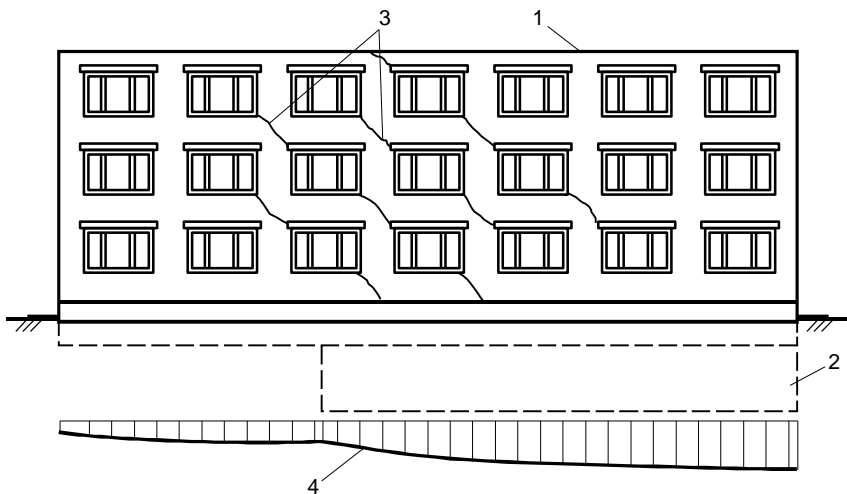


Рисунок 6.25 – Деформации при неправильном устройстве фундаментной части здания:

1 – возводимое здание; 2 – фундаментальная часть здания; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов

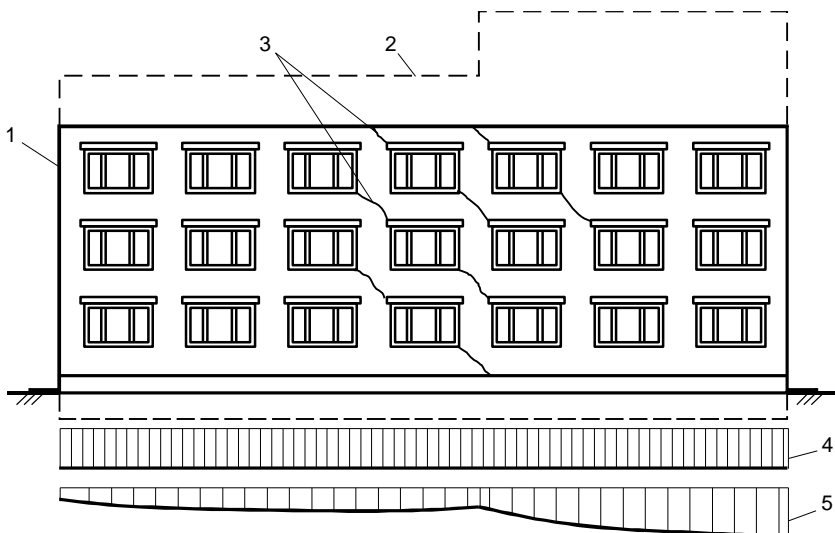


Рисунок 6.26 – Деформации при надстройке дополнительных этажей над зданием:

1 – существующее здание; 2 – надстройка над существующим зданием; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4, 5 – соответственно эпюры осадок фундаментов до и после надстройки дополнительных этажей

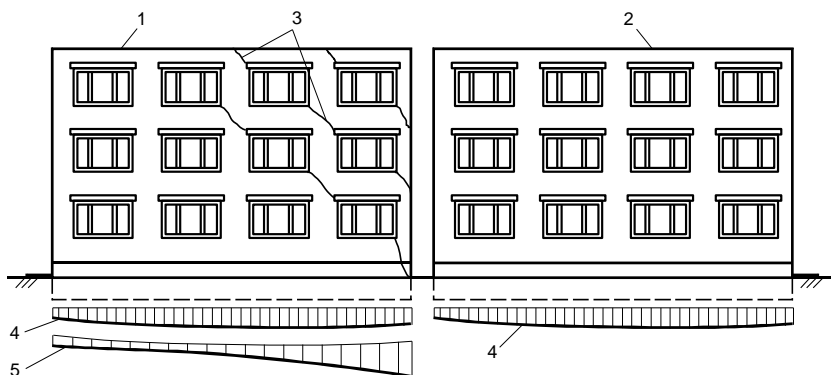


Рисунок 6.27 – Деформации при возведении здания в несколько очередей:

1 – возводимое новое здание; 2 – существующее старое здание; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов нового здания; 5 – граница зоны уплотненного грунта



## 7 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

---

**П**овреждения строительных материалов, протекающие под действием, в основном, микроорганизмов, называются биоповреждениями (биодеструкцией). Еще В. И. Вернадский подчеркивал весьма большую роль микроорганизмов в процессах, протекающих в биосфере. С другой стороны, биосфера с каждым годом насыщается все большим количеством самых разнообразных материалов. И если некоторые из них органично вписываются в биосферное пространство и не нарушают экологические связи, то другие отторгаются и подвергаются деструкции.

В настоящее время более 40–50 % общего объема регистрируемых в мире повреждений связано с деятельностью микроорганизмов, а в нефтяной промышленности более 77 % коррозионных потерь оборудования происходит в результате биокоррозии.

Микроорганизмы-биодеструкторы способны уничтожить буквально любые строительные материалы и конструкции. В подавляющем большинстве конструкций зданий и сооружений встречаются различные виды биоповреждений. Так, по исследованиям российских ученых 80–90 % домов центра Санкт-Петербурга поражены различными организмами: бактериями, простейшими, микроскопическими и другими грибами, водорослями, лишайниками и даже высшими растениями. Внутри многих зданий (в том числе в больницах, детских учреждениях) обсемененность помещений, например, микроскопическими грибами (микромикетами) превышает предельно допустимую норму в десятки, а то и сотни раз, если ориентироваться на нормативные документы Европейского союза.

Биоповреждения снижают уровень экологической безопасности строительных материалов, ухудшают их качество, приносят значительный экологический и экономический ущерб.

Для строительных материалов и конструкций биоповреждение является одним из основных факторов, определяющих скорость износа зданий и других инженерных сооружений (наряду с воздействием агрессивных газов, кислотных дождей, промерзанием, выветриванием и др.), который имеет ряд существенных особенностей:

- при сочетании определённых условий микроорганизмы могут ускорить процессы деструкции материалов в сотни и даже тысячи раз (!);
- микроорганизмы – деструкторы могут находиться в состоянии покоя в течение длительного времени, никак не проявляя себя;
- микроорганизмы переходят в активную фазу жизни, как правило, в некомфортных для человека условиях: при относительной влажности воздуха свыше 60 % и стен (конструкций) – свыше 5 %;
- микроорганизмы оказывают на строительные материалы как химическое, так и механическое воздействие;
- в сообществе одни микроорганизмы могут поддерживать жизнедеятельность других (в случае наступления для последних неблагоприятных условий);
- процессы биоповреждения угрожают не только зданиям и другим инженерным сооружениям, но и находящимся в них имуществу и людям;
- продукты жизнедеятельности и споры многих микробов, живущих в стенах и перекрытиях помещений, воздуховодах и в других конструкциях зданий, могут вызывать серьезные заболевания у людей.

Строительные материалы и конструкции подвергаются «нападению» со стороны бактерий, микроскопических грибов, водорослей, насекомых, грызунов и др. Так, например, активно разрушают древесину, некоторые полимерные и другие материалы и изделия термиты. Морские беспозвоночные, водоросли, лишайники, высшие растения способны вызывать коррозию и наносить другие повреждения. Однако наибольший объем биоповреждений строительных материалов связан с деятельностью микроорганизмов (бактерий, грибов, актиномицет или лучистых грибов и др.).

Практически все виды микроорганизмов, особенно в условиях благоприятных для их роста, т. е. при повышенной влажности, температуре 24–30 °С, темноте или рассеянном свете, спокойной среде без активного проветривания и затрудненном водообмене, вызывают биоповреждения строительных материалов.

Внешне биологические воздействия проявляются в виде грибковых налетов на оштукатуренных и окрашенных стенах, иногда непосредственно на бетонной поверхности, пигментных пятнах, обесцвечивании и т. д. И если на наружных стенах зданий в основном преобладают микроводоросли, лишайники и другие фотосинтезирующие организмы, а также некоторые виды бактерий, то внутри помещений под синтетическими обоями и на клеевой шпаклевке стен в основном развиваются плесневые грибы.

Существуют многочисленные данные о биологическом разрушении грибами поливинилхлоридного линолеума, а также о повреждениях теплоизоляционных материалов на минеральной основе с полимерными органическими наполнителями. Разбуханию, вспучиванию и другим повреждениям подвергаются не только естественные, но и синтетические

строительные материалы. Некоторые микроорганизмы, например мицелиальные грибки, не в состоянии сразу проникнуть в плотную и пористую структуру цементных компонентов. Однако в условиях экологически загрязненной среды отмечена их значительная обрастаемость грибами.

Биоповреждения, вызванные различными микроорганизмами, значительно ухудшают не только товарный вид, но и физико-механические свойства материалов, а также негативно влияют на микроклимат в помещениях.

Специалисты насчитывают в природе более 100 тыс. видов грибов. Можно наметить две группы грибов, вызывающих биоповреждения. Первая – неспецифичные почвенные сапротрофы. Из них чаще всего встречаются виды родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Alternaria* *rusarium* (по убывающей значимости). Редко встречаются представители других родов. Вторая группа грибов состоит из специализированных микроорганизмов, возникших в процессе приспособительной эволюции к тем или иным материалам. К таковым относятся, например, *Cladosporium* *resinae*, развивающиеся на нефти и нефтепродуктах, грибы *Aspergillus* *penicilloides* живут на поверхности стекла.

Необходимые для развития микроорганизмов питательные органические вещества содержатся в заполнителях и химических добавках, применяемых для приготовления растворных смесей. Кроме того, органические вещества вносят в наружный слой конструкций при грунтовке и шпаклевке поверхности, а также с лакокрасочными материалами и клеем при наклейке обоев. Технологическая пыль из органических веществ, осаждаемая на поверхности конструкции, создает благоприятные условия для развития грибов и бактерий.

В отличие от микроскопических грибов и других микроорганизмов воздействие бактерий внешне может не проявляться, однако влияние их на физические свойства и химический состав не менее значителен, что может приводить к развитию биокоррозии. Биокоррозионному разрушению подвержены металлы, бетон, древесина, полимерные материалы с низкой биостойкостью пластификаторов и накопителей и т. д. На поверхности корродируемого материала (металлические и неметаллические конструкции) под воздействием продуктов метаболизма микробов, а именно различных органических и неорганических кислот, происходят электрохимические реакции, и строительный материал деградирует, вплоть до полного разрушения.

Микроорганизмы взаимодействуют со всеми основными составляющими пористых строительных материалов. В помещениях комнатная температура и относительная влажность 60–70 % создают благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов. Небольшой удельный вес (0,5–0,003 г.) способствует их переносу в воздушных потоках на значительное расстояние.

Интенсивность взаимодействия материалов и биодеструкторов зависит не только от их природы, но и от условий контакта (скорости движения и напора жидких и газообразных сред, а также от температуры, силовых нагрузок – напряженного состояния материала конструкций). При благоприятных условиях микроорганизмы могут за несколько месяцев, даже недель, частично или полностью изменить внешний вид, механические и другие свойства строительных материалов и конструкций.

Выделяют два вида биокоррозии: анаэробную, которая протекает без доступа кислорода, т. е. в восстановительных условиях, и аэробную (в присутствии кислорода). Тионовые бактерии в аэробных условиях могут вызывать коррозию подземных сооружений. Железобактерии нередко выводят из строя систему стальных дренажных труб, закупоривая отверстия микробными клетками и образующимися оксидами железа. Сульфатовосстанавливающие бактерии корродируют металлические конструкции в сырых помещениях.

Принято считать, что основную роль в разрушении строительных минеральных материалов играют автотрофные бактерии, которые способны получать необходимую энергию при окислении или восстановлении таких элементов и соединений, как сера, азот, железо, различные органические кислоты.

Основные типы бактерий и условия их жизнедеятельности представлены в таблице 7.1.

**Таблица 7.1 – Основные типы бактерий и условия их жизнедеятельности**

Группа и тип микроорганизмов	Соединения	Продукт восстановления или окисления	Условия жизнедеятельности			
			рН		температура, °С	
			оптимальный	допустимый	оптимальная	допустимая
Сульфато-окисляющие анаэробные	Сульфаты, тиосульфаты, сульфиты, сера, гипосульфит	Сероводород	6–7,5	5–9	25–35	55–65
Сероокисляющие аэробные	Сера, сульфиты, тиосульфаты	Серная кислота	2–4	5–9	28–30	18–37
Тиосульфато-окисляющие аэробные	Тиосульфаты, сера	Тиосульфат до серы, сера – до сульфата	7	7–9	30	–
Железобактерии аэробные	Карбонат и бикарбонат железа, бикарбонат марганца	Гидроокись железа	4–10	–	24	5–40
Микроаэрофильные	Сера	Тиосульфат	7–9	5–10	30	–

Между биологическим, химическим и механическим факторами, несомненно, существует тесная взаимосвязь. Трещины, появляющиеся в результате температурных напряжений и выветривания, облегчают химические процессы между каменным материалом и продуктами жизнедеятельности микроорганизмов. В свою очередь, биологические повреждения камня делают его более восприимчивым к действию химических и механических факторов и тем самым увеличивают интенсивность разрушений. Кроме того, грибы и лишайники, растущие на каменных материалах, способствуют задержанию пыли и грязи, источники которых весьма разнообразны.

Анализ и обобщение накопленного опыта позволили выдвинуть эколого-технологическую концепцию биоповреждений, согласно которой биоповреждения рассматриваются как реакция окружающей среды, биосферы на то новое, что вносит в нее деятельность человека. Строительные материалы и изделия, подвергаемые «нападению» микроорганизмов, рассматриваются как составная часть естественных биоценозов, вовлекаемых в общий круговорот веществ. Эколого-технологической эта проблема названа потому, что в биодеструктивном процессе всегда взаимодействуют два начала: с одной стороны, живой организм (или его сообщество), с другой – абиотический компонент, т. е. строительные материалы, изделия и конструкции.

В настоящее время трудно найти группу материалов, на которую живые организмы не оказывают разрушающего воздействия или, по меньшей мере, не изменяют их свойства и внешний вид.

Биомониторинг состояния ряда инженерных сооружений позволил выявить основные формы биоразрушения строительных материалов и конструкций:

- поверхностные корки на бетонных конструкциях и штукатурке, образованные продуктами химической коррозии и микроорганизмами; отслаивание таких корок сопровождается осыпанием материала и потерей прочности конструкций;

- поверхностные налеты и наслоение различной плотности и окраски (биопленки), сформированные колониями микроскопических грибов, водорослей и бактерий; они развиваются, преимущественно, в местах повышенного увлажнения бетонных конструкций и кирпичной кладки. Массовое развитие биопленок отмечено на бетонных плитах и перекрытиях в подвалах, в местах скопления органического вещества (протечки канализации, промстоки);

- крупные подвижные трещины, которые формируются в местах деформации бетонных конструкций, особенно в зонах стыков; в их глубине происходит активное развитие колоний микроорганизмов;

- микротрещины бетона, штукатурки, развитие которых сопровождается потерей фрагментов материала; наблюдаются на элементах конструкции практически повсеместно;

– биологическая коррозия бетона в зоне контакта с металлическими элементами (закладными деталями, арматурой). Этот процесс сопровождается ослаблением несущих конструкций (перекрытий и стен), в том числе в подвалах;

– повсеместное отслаивание и осыпание слоев побелки и штукатурки (на потолке и стенах), под которыми идет развитие колоний микроорганизмов;

– отслаивание красочного слоя, связанное с ростом и развитием колоний микроорганизмов на поверхности и в толще материала (под слоем краски и побелки);

– образование солевых налетов и отложений на различных бетонных конструкциях в подвалах и в других подземных сооружениях в виде налетов, крупных натеков, сталактитов или в виде рыхлой кристаллической массы;

– интенсивная биологическая коррозия (при участии бактерий и грибов), приводящая к расслаиванию поверхности металлических конструкций и потере их прочности;

– разрушение и деформация бетонного цоколя здания, связанная с активным развитием колоний грибов, бактерий, водорослей и мхов. Развитие биологического сообщества сопровождается потерей прочности и осыпанием стройматериала;

– разрушение кирпичной кладки в местах повышенного увлажнения с внешней стороны зданий. Наиболее интенсивно разрушение протекает в зоне стыка стен, примыкания кровли и под свесом, где скапливается влага и формируются подвижные трещины. Этот процесс связан с активным ростом бактерий и грибов, способствующих накоплению и удержанию влаги в строительном материале;

– разрушение кирпичной кладки внутри здания. Наиболее интенсивно деструкция проявляется в зоне оконных разъемов и на кирпичной стене у входов в помещения. Этот процесс сопровождается отслаиванием и осыпанием фрагментов кирпича.

При классификации биологических повреждений материалы подразделяют по морфологическим признакам и изменению свойств. К группе морфологических признаков проявления биоповреждений относят:

– обрастание поверхности мицелием грибов или колониями бактерий; появление окрашенных пятен; появление язв, каверн и трещин на поверхности материала;

– потеря части материала вследствие его повреждения, например грызунами, термитами, молью;

– изменение структуры или состояния материала, например расслоение водомасляных эмульсий под действием бактерий, желирование топлив;

– фибриляция волокнистых материалов-волокон, тканей, например шерсти, под действием микроорганизмов и др.

К группе признаков биоповреждений по изменению свойств материалов относят:

- изменение физико-механических свойств материалов, например потеря прочности древесины, резины, пластиков под действием микроорганизмов или их метаболитов; набухание резины, потеря адгезии лакокрасочных покрытий;

- ухудшение электрофизических свойств, например снижение электроизоляционных свойств материалов;

- изменение оптических свойств, например опалесценция, и потеря прозрачности стекол оптических приборов, протравленных метаболитами грибов;

- изменение химических свойств материалов в результате окисления или гидролиза пластификаторов в пластиках, целлюлозы в древесине;

- изменение органолептических свойств, например появление дурного запаха при гниении смазочно-охлаждающих жидкостей или других материалов, появление слизи на твердых поверхностях и т. п.

Основные причины биоповреждений зданий и сооружений:

- повышенная влажность строительных материалов;

- наличие в составе строительных материалов веществ (прежде всего органических), являющихся питательной средой для биодеструкторов;

- высокая запыленность наружного воздуха и воздуха внутри помещений;

- загрязнение атмосферы такими газами, как  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  и т. п.;

- повреждение поверхности строительных материалов под воздействием других негативных факторов (появление трещин, напряженное состояние конструкции и т. д.);

- загрязнение поверхности строительных материалов веществами, способствующими развитию биодеструкторов;

- антисанитарные условия в эксплуатируемых подсобных помещениях и на прилегающих территориях;

- использование материалов, зараженных биодеструкторами.

Повышенная влажность строительных материалов и конструкций, как правило, обусловлена:

- повышенной влажностью растворных смесей, а также связанной с использованием водных растворов при производстве работ;

- повышенной построечной влажностью, связанной с намоканием материалов в процессе строительства (дождь, снег);

- нарушением вертикальной и горизонтальной гидроизоляции;

- увлажнением благодаря капиллярным, диффузионным, осмотическим и электроосмотическим эффектами из-за превышения культурным слоем уровня вертикальной и горизонтальной гидроизоляции;

- нарушением целостности кровельного покрытия;
- протечками кровель и выпадением конденсата из-за нарушения температурно-влажностного режима чердачных помещений;
- конденсацией водяных паров на поверхности и внутри стен и перекрытий из-за высокой относительной влажности воздуха, резкого перепада температур, наличия «мостиков» холода и других причин;
- конденсацией водяных паров в нижней части стены. Нижняя часть стены (20–30 см от уровня пола) имеет пониженное значение температуры за счет теплоотвода, обусловленного нижележащим грунтом, который в теплый период года всегда имеет температуру существенно ниже температуры окружающей среды;
- повреждением свесов, карнизов, поясов и других водоотводящих элементов на фасадах зданий;
- нарушением гидроизоляции, отсутствием уклонов на балконах, козырьках и других выступающих элементах;
- повышенной влажностью воздуха в помещениях из-за несоблюдения температурно-влажностного режима в помещениях;
- протечками водопроводных, канализационных и сетей отопления.

Главной причиной возникновения биодеструкции является *повышенная влажность строительных материалов*. Финские специалисты службы спасения имущества, занимающиеся экстренной просушкой зданий и помещений, пострадавших от протечки, подсчитали, что 70 % потерь при пожаре связано не с огнем, а с результатами его тушения, то есть с намоканием материалов. По данным анализа московских страховых компаний, ущерб, который выплачивается по страховке от пожаров, составляет 17 %, а по авариям систем водоснабжения – 38 %. Таким образом, основные страховые выплаты производятся из-за намокания строительных материалов, в результате чего происходит разрушение отделочных, фасадных слоев и даже самих несущих конструкций.

Среди основных факторов, приводящих к увлажнению зданий и помещений, как правило, утечки сантехнических узлов, протечки балконов, а также недобросовестное выполнение *ремонтных работ*. Еще одно весьма распространенное явление – капиллярный подсос. Он характеризуется появлением плесневелых грибов в первых этажах зданий, выносом солей из кирпичной кладки, что приводит, в итоге, к ее разрушению (соли воздействуют на нее не только физически, но и химически).

Строительные материалы могут ухудшать экологическую ситуацию в зданиях и сооружениях не только при выделении токсичных и радиоактивных веществ, но и способствуя росту микроорганизмов и других представителей биоты.

Питательной средой для биодеструкторов являются многие органические соединения, используемые в строительстве или при



изготовлении строительных материалов, например, олифа, столярный клей, дерево и деревянные стружки, целлюлоза, а также материалы на основе нефтепродуктов, синтетических полимеров и т. п.

Пыль, как правило, содержит вещества, необходимые для развития различных микроорганизмов-деструкторов. Кроме того, вместе с пылью по воздуху распространяются споры грибов, бактерии, пыльца и семена растений.

Строительные материалы, в состав которых не входят вещества, благоприятные для жизнедеятельности микроорганизмов, могут подвергаться биоповреждениям в том случае, если на их поверхности имеются загрязнители, которые служат благоприятной средой для микробов. Те, в свою очередь, продуцируют вещества, химически агрессивные для материалов, а после появления микротрещин разрушают материал и механическим путем.

При оценке технического состояния конструкций с учетом биоповреждений степень биоповреждения строительных материалов и конструкций можно оценивать в соответствии с таблицей 7.2.

**Таблица 7.2 – Определение степени биоповреждения строительных конструкций, вызванных действием микробиодеструкторов**

Степень биоповреждения	Характеристика конструкции	Характеристика повреждения
I	Конструкции из кирпича, бетона, а также отделочные материалы	Повреждение поверхности отделочного материала: окрасочного слоя, обоев или иного покрытия
	Конструкции из незащищенного бетона, железобетона	Незначительное шелушение поверхности бетона
	Конструкции из природного камня	Поверхностный плесневой налет без видимого разрушения
	Деревянные конструкции	Поверхностный плесневой налет
	Гипсокартон	Поверхностный плесневой налет без видимого разрушения
II	Конструкции из кирпича, бетона, а также отделочные материалы	Глубокое повреждение отделочных слоев, вспучивание и отслоение краски. Повреждение шпаклевочных и штукатурных слоев, отслаивание керамической плитки
	Конструкции из незащищенного бетона, железобетона	Поверхностное разрушение на глубину до 2 см (без обнажения арматуры)
	Конструкции из природного камня	Поверхность покрыта корками биологического происхождения, поверхность камня имеет незначительные видимые повреждения
	Деревянные конструкции	Участки гнили локализованы. Глубина повреждения деревянной конструкции не более 20 % сечения
III	Конструкции из кирпича,	Отслоение штукатурки, шпаклевки,

	бетона, железобетона, природного камня, отделочные материалы	шелушение, выкрашивание кирпича, кладочного раствора. Шелушение и выкрашивание бетона и железобетона, отслоение коррозионного слоя от арматуры железобетона. Повреждение поверхности натурального камня на глубину более 5 мм
	Гипсокартон	Глубокое повреждение, наличие признаков биопоражения между стеной и гипсокартоном
	Деревянные конструкции	Глубина повреждения деревянной конструкции более 20 % сечения
IV	Биоповреждению II и III степени подвержено более 50–60 % строительных конструкций здания или сооружения	
<i>Примечание</i> – Гипсокартон не имеет II степени повреждения.		

## 7.1 Металлы и металлоконструкции

Биоповреждения металлов и металлоконструкций принято называть биокоррозией или микробиологической коррозией металлов. Поскольку среди живых организмов – агентов биокоррозии основными являются бактерии и микроскопические грибы, то в специальной литературе приняты термины «бактериальная» и «грибная» коррозия. В технике и повседневной жизни со случаями биокоррозии металлов приходится сталкиваться реже, чем со случаями биоповреждений неметаллических материалов. Это связано с различными причинами. Прежде всего металлы, сами по себе являются более биостойким материалом, а некоторые из «них обладают даже биоцидным действием. В машинах, приборах и других технических изделиях они, как правило, используются с различными защитными и декоративными лакокрасочными и другими покрытиями, которые первыми принимают на себя воздействие агентов биоповреждений и предохраняют металл от биокоррозии. И, наконец, следует отметить, что внешние проявления биокоррозии металлов мало отличаются от обычной коррозии, сопровождающейся, например, в случае атмосферной коррозии появлением ржавчины. Поэтому даже специалисты в области коррозии не всегда могут распознать биокоррозию и для установления биологической природы тех или иных случаев коррозии вынуждены обращаться к микробиологам.

Микробиологическая коррозия может протекать самостоятельно и сопровождать электрохимическую, почвенную, атмосферную, морскую и другие виды коррозии металлов. Действие микроорганизмов на металлы может быть различным. Прежде всего, коррозию металлов могут вызывать агрессивные экзопродукты микроорганизмов – минеральные и органические кислоты и основания, ферменты и др. Они создают коррозионно-активную среду, в которой в присутствии воды протекает коррозия по обычным законам электрохимии. Колонии

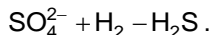
микроорганизмов могут создавать на поверхности металлов наросты и пленки мицелия или слизи, под которыми может развиваться язвенная (питтинговая) коррозия в результате разности электрических потенциалов на различных участках поверхности металла и ассимиляции ионов металлов самими микроорганизмами. Биогенная и химическая коррозия металлических конструкций выражается в образовании сплошного слоя ржавчины, отслаивании крупных фрагментов металла, в формировании глубоких каверн, образовании поверхностных налетов, в потере прочности металлических конструкций.

### 7.1.1 Биокоррозия под действием бактерий

Биокоррозию металлов могут вызывать различные роды бактерий.

В США ежегодно бактерии разрушают подземные трубы на \$2 млрд. На «совести» бактерий 77 % ущерба от коррозии нефтяного оборудования. Анализ причин отказов нефтепроводов в Западной Сибири показал, что более 80 % из них произошли из-за коррозии металла. Не менее опасна ситуация с теплотрассами. По данным организации «Мосгортепло», срок службы трубопроводов магистральных сетей – 12–15 лет, разводящих сетей – 7–8 лет, что значительно ниже нормативного (25 лет).

Среди литотрофных бактерий наиболее часто коррозию металлов связывают с деятельностью: сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ) родов *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum* и тионовых бактерий рода *Tiobacillus*, окисляющих серу и соединения серы до серной кислоты; железобактерий родов *Callionella* и *Sperotilus*, окисляющих закисное железо до окисного. Коррозия металлов и металлоконструкций под действием СВБ встречается в технике наиболее часто по сравнению с другими видами биокоррозии. Характерной особенностью этого вида коррозии является то, что она протекает в анаэробных условиях и основные возбудители ее два рода СВБ – *Desulfovibrio* и *Desulfotomaculum*. Случаи анаэробной коррозии более характерны для подземных сооружений и конструкций (нефтепромысловое оборудование, трубопроводы, нефтехранилища и т. п.), находящихся в плотных глинистых и водоносных слоях грунта. Коррозия металлов под действием СВБ связана главным образом с образованием сероводорода и сульфидов в результате восстановления сульфатов:



Удаление водорода с поверхности металла приводит к образованию сульфида и гидроксида железа:



Коррозия железа и стали под действием СВБ обычно имеет характер местной и язвенной коррозии. Продукты коррозии окрашены в характерный черный цвет, имеют запах сероводорода, слабо прилегают к поверхности металла, который под их слоем сохраняет блестящую поверхность. Особенно интенсивно протекает коррозия чугуна под действием СВБ, сохраняющиеся островки частиц углерода рассыпаются от легкого прикосновения. В анаэробных условиях глинистых почв водопроводные трубы с толщиной стенки 6 мм разрушались полностью в течение 3–4 лет. Наличие в почве свободных ионов железа ускоряет биокоррозию. Механизм биокоррозии под действием СВБ очень сложен, поскольку параллельно протекает несколько многостадийных процессов. Наряду с восстановлением сульфатов, как правило, происходит восстановление фосфатов.

Массовые коррозионные повреждения вызывают железобактерии. 20 % потерь металла от коррозии связывают с воздействием тионовых, нитрифицирующих и сульфатвосстанавливающих бактерий.

Из железобактерий наиболее изучена в физиологическом и биохимическом отношении неспоронная подвижная палочка *Thiobacillus ferro-oxidans*, окисляющая серу. К железобактериям относятся также некоторые нитчатые бактерии из рода *Leptothrix*, с толстыми ржавого цвета ка-псулами (влагалищами), содержащими гидрат окиси железа; *Gallionella*, состоящая из спирально закрученных в виде пучков тончайших (0,01 мкм) нитей, образующих стебель, на поверхности которого откладывается гидрат окиси железа.

В присутствии тионовых бактерий скорость коррозии железа почти в миллион раз превышает скорость обычного химического окисления. Если обычное ведро в результате химической коррозии проржавеет за сто лет, то с активной культурой тионовых бактерий – это дело часов.

Присутствие железобактерий выявляется практически во всех пробах, взятых от разрушающихся металлических конструкций. Концентрация железобактерий на поверхности ржавеющих труб и других металлических конструкций достигает 20 000 клеток и более на 1 грамм субстрата. Причем железобактериям, как правило, сопутствуют интенсивно развивающиеся микроскопические грибы-биодеструкторы, существенно усиливающие коррозионные процессы металлов.

### **7.1.2 Биокоррозия под действием микроскопических грибов**

Метаболиты многих микроскопических грибов вызывают коррозию черных и цветных металлов. Биокоррозия под действием грибов характерна для атмосферных и почвенных условий. В местах с ограниченным воздухообменом, где создаются благоприятные для развития грибов температурно-влажностные условия, попавшие на

поверхность металла вместе с загрязнениями споры грибов могут вызвать коррозию металлов. Выросшие на загрязненных поверхностях мицелии грибов способны в дальнейшем удерживать влагу даже при снижении относительной влажности окружающего воздуха до 60 % и ниже. Местное повышение влажности в присутствии мицелия создает дополнительные благоприятные условия для развития коррозии. Наиболее опасными в отношении биокоррозии металлов климатическими зонами являются зоны влажного тропического и субтропического климата. В зонах умеренного климата грибы вызывают коррозию в тех случаях, где нарушаются условия хранения или эксплуатации техники. Типичными представителями грибов, вызывающих биокоррозию в различных климатических зонах, являются грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* и др. В естественных микоценозах могут встречаться и доминировать наряду с указанными грибами и другие. Поскольку грибы – гетеротрофы, то на поверхности чистого, незагрязненного металла, не имеющего контакта с органическими материалами, например смазками, полимерными пленками, красками и др., они не могут развиваться. Биокоррозия металлов под действием грибов носит в связи с этим как бы вторичный характер. Вначале грибы поселяются и развиваются на органических материалах, контактирующих с металлом, а затем мицелий, распространяясь на металл, вызывает коррозию своими метаболитами-кислотами, ферментами. Биокоррозия отмечалась на незащищенных смазками или неокрашенных металлических деталях, резьбовых соединениях, электрических контактах и т. п. Такие поражения характерны для радиоэлектронных и оптических приборов (телевизоры, стереотрубы, микроскопы). Образование мицелия на поверхности электрических контактов приборов в ряде случаев вызывало нарушение работы всего прибора вследствие замыкания электрической цепи или размыкания из-за нароста продуктов коррозии на поверхностях.

## **7.2 Минеральные материалы**

Неметаллические строительные материалы, такие как кирпич, бетон, штукатурка, различные сухие смеси, также подвержены воздействию биопоражений.

Ежегодно около 2 % всего производимого железобетона разрушается под воздействием биодеструкторов. Биоповреждения минеральных строительных материалов сводятся к нарушению сцепления составляющих компонентов этих материалов в результате воздействия органических кислот микробного происхождения. Бетонные конструкции разрушаются вследствие химических реакций между цементным камнем и продуктами жизнедеятельности микроорганизмов.

С точки зрения условий развития процессов биологической коррозии минеральных строительных материалов, связанных с жизнедеятельностью микроорганизмов, следует различать **два основных вида биокоррозии**.

В *первом* случае биоорганизмы находятся в непосредственном контакте с наружной или внутренней (для пористых материалов) поверхностью строительной конструкции. В процессе метаболизма они взаимодействуют с материалом, в результате чего снижается прочность или ухудшаются другие эксплуатационные качества материала (происходит повреждение материала и сокращение сроков его службы).

Во *втором* случае биоорганизмы являются продуцентами веществ, агрессивных по отношению к строительному материалу, но непосредственно со строительной конструкцией не связаны. Коррозионные процессы могут развиваться на некотором расстоянии от места обитания биоорганизмов, вырабатывающих агрессивные вещества.

Рассмотрим механизм микробиологического разрушения поверхностной части бетона, цементного камня и других строительных материалов. Первоначально поверхность строительного материала заселяют микроскопические плесневые грибки и базидиомицеты, а после начала их разрушительной работы поселяется огромное количество бактерий, которые ускоряют процесс разрушения силикатных минералов, входящих в состав бетона, цементного камня и других материалов. Органические вещества, образующиеся при этом, становятся пищей для других бактерий, число которых резко увеличивается.

Микрофлора расселяется практически на всех строительных материалах, за исключением свежего цементного камня, который обладает бактерицидной активностью благодаря щелочной реакции поровой жидкости. Кислотные загрязнения, находящиеся в экологически загрязненной внутренней среде жилища, могут постепенно нейтрализовать щелочность камня, и тогда на его поверхности через несколько лет разрастаются колонии микроорганизмов.

Бетон, кирпич и штукатурка поражаются разными видами микробиоты в силу их различной кислотности. Многочисленные исследования по микробному заражению минерального строительного материала показывают, что строительный кирпич и бетон поражаются в основном грибами – микромицетами, относящимися к плесневым грибам из родов *Aspergillus* и *Penicillium*. *Penicillium* и *Aspergillus* по внешнему виду похожи. Последний имеет ветвящийся бесцветный мицеллий. Быстро образующиеся споры придают поверхности бетона зеленоватый цвет. Плесневый грибок *Cladosporium* имеет мицеллий и конидии коричневого, оливкового или черного цвета. Темная окраска мицеллия выделяет колонии грибов на поверхности бетона в виде черных бархатистых пятен. Некоторые деревообразующие грибы (*Serpula lacrimans*, *Poria vaporaria*)

могут проникать в поры бетона и, выделяя уксусную, муравьиную и другие кислоты, вызывать повреждение бетона.

В результате поражения минерального строительного материала грибами происходит его вспучивание, растрескивание, отваливаются целые фрагменты штукатурки и кирпича, на потолках проступают темные пятна. Чаще всего этим явлениям способствуют климатические условия (высокая влажность, перепады температур), а в помещениях они являются результатом протечек.

Как правило, само здание из кирпича и бетона поражается грибами и бактериями достаточно сильно. При этом фасад (штукатурка, кирпич или бетон) поражается, в основном, плесневыми грибами и бактериями на большую глубину – часто более 5 см, а внутренние помещения – практически только бактериями различных видов.

Сильное заражение строительных материалов как фасадных, так и внутренних помещений микроорганизмами может повлиять на снижение санитарно-гигиенической характеристики зданий. Фасадный строительный минеральный материал поражается преимущественно грибами и бактериями, среди которых отмечается наличие как спорообразующих, так и неспорообразующих форм. В образцах строительного кирпича часто обнаруживается большое количество микромицетов, в основном относящихся к плесневым грибам. В штукатурке, как правило, грибов не наблюдается из-за сильной щелочной реакции материала, которая губительна для роста и развития микромицетов. Штукатурка обычно поражается бактериями.

Кроме указанных выше видов биопоражений минеральных строительных материалов, поражение паразитирующей растительностью (зеленые разводы на зданиях), возбудителями которого является водоросль *Algae*, приводит к очень сильному разрушению зданий.

На поверхности бетонных конструкций, пораженных грибами, отмечается более 40 родов грибов. Большинство грибов имеют мицелий – тонкие ветвящиеся нити (гифы), которые растут своими концами и таким образом распространяются в питательной среде. Грибки размножаются обрывками мицелия или спорами. Для большинства грибов оптимальная температура для развития равна 20–25 °С. Имеются данные о том, что грибки могут развиваться в температурном интервале от –20 до +80 °С. В процессе своей жизнедеятельности они выделяют различные минеральные и органические кислоты (уксусную, лимонную, молочную, масляную, муравьиную, яблочную и др.), которые взаимодействуют с основными (щелочными) соединениями цементного камня и разрушают его, превращая гидросиликаты и гидроалюминаты в соли, не обладающие вяжущими свойствами. Цементный камень перерождается и теряет свои строительные и технические свойства. Замечено, что, поселяясь на поверхности, грибы изменяют рН среды

таким образом, что создают оптимальную для своего развития кислотность среды. Для большинства изученных проб значения pH находились в пределах от 4,8 до 5,4 (кислая среда). Поскольку в толще основного строительного материала – бетона – среда в норме всегда щелочная (pH выше 9), то сильное ее закисление на поверхности бетона указывает на весьма значительный вклад биодеструкторов в процессы повреждения и разрушения бетонных конструкций.

Колонии грибов на поверхности бетона могут выделять углекислый газ и способствовать его карбонизации, что установлено методом дифференциально-термического анализа проб бетона, зараженного грибковой флорой, и контрольных. Необходимое условие жизнедеятельности грибов – наличие влаги. Наблюдение показывают, что они активно развиваются при наличии источников влаги. Однако имеется немало случаев развития грибов в условиях помещений с нормальной влажностью и температурой при отсутствии капельно-жидкой влаги. Такие повреждения можно наблюдать на лестничных клетках, в коридорах, санузлах, в подвальных помещениях. Споры плесневых грибов имеют размеры 1–10 мкм. Исследования их способности проникать через бетон показали, что при капиллярном всасывании воды или фильтрации ее при наличии градиента давления споры грибов проникают через все исследованные бетоны.

Пористые штукатурные растворы разрушаются грибами достаточно быстро, при этом в разрушенном материале под микроскопом обнаруживаются гифы грибов. Плотные бетоны разрушаются грибами достаточно медленно, однако за 20–50 лет эксплуатации происходит серьезное разрушение поверхностного слоя. В лабораторных условиях при длительном воздействии культуры грибов на бетон прочность его уменьшалась с 22,5 до 10 МПа, т. е. на 42 %. Выделяемые грибами органические кислоты и уголекислота совместно с уголекислотой воздуха нейтрализуют бетон. С утратой щелочной реакции жидкая фаза бетона теряет способность поддерживать сталь в пассивном состоянии. Развивается коррозия стальной арматуры в бетоне.

Биологическая коррозия бетона и железобетона интенсивно развивается в условиях техногенных сред. Высокая влажность, наличие органических веществ, жиров, аммиака, растворов солей – все это создает благоприятные условия для интенсивного развития микроорганизмов-биодеструкторов.

Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии биологически активных сред на конструкции из бетона и железобетона представлены в таблице 7.3.

**Таблица 7.3 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона биологически активных сред**



Среда	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии биологически активных сред
Грибы	ХА1
Тионовые бактерии	ХА1 – ХА3 в зависимости от концентрации сероводорода по таблице 5.14

По масштабам повреждения конструкций и сооружений наибольшее значение имеет ущерб, вызываемый тионовыми бактериями. Специалистам известны массовые повреждения канализационных сооружений, связанные с разрушением бетона серной кислотой, выделяемой тионовыми бактериями.

Механизм этого процесса исследовали в нашей стране и за рубежом. Большая программа исследований биологической коррозии конструкций канализационных сооружений выполнена в Германии. На основании полученных данных процесс образования агрессивной среды и коррозии бетона представляют в настоящее время следующим образом. В трубопроводах сточных вод при наличии органических загрязнений, особенно при повышенном содержании белка, в анаэробной среде развиваются сульфатредуцирующие бактерии. Используя в своем жизненном цикле серосодержащие соединения, они выделяют сероводород. Необходимые для существования сульфатредуцирующих бактерий анаэробные условия создаются у поверхности стенок трубопроводов в органической слизистой пленке, в которую доступ кислорода ограничен. Аналогичные условия существуют в напорных участках трубопроводов, где сточные воды не имеют прямого контакта с воздухом. Необходимые для существования бактерий органические вещества содержатся в бытовых сточных водах и, особенно, в сточных водах кожевенных заводов, заводов по производству безалкогольных напитков и ряда других производств пищевой промышленности. При переходе от напорных участков трубопровода к самотечным в местах с турбулентным потоком растворенный сероводород выделяется в воздух. Далее он растворяется в пленке конденсата на поверхности конструкций и здесь, в условиях достаточной аэрации, превращается тионовыми бактериями в серную кислоту. В зависимости от концентрации сероводорода, которая в канализационных сооружениях составляет от единиц до сотен миллиграммов на кубометр воздуха, образуется кислота различной концентрации. В наиболее опасных участках концентрация серной кислоты достигает 5 %, а рН влаги на поверхности конструкций – 1–2. В этих условиях бетон разрушается со скоростью, достигающей 1–2 см в год. Сооружение быстро выходит из строя.

Сточные воды являются благоприятной средой для развития анаэробных бактерий *Tyio Conce tivorus*, вследствие активности которых концентрация серной кислоты на влажной поверхности труб может составлять до 23 %, что вызывает коррозию бетона. Скорость коррозии бетона зависит от состава цемента и ряда других факторов. При

неблагоприятных условиях бетонные трубы круглого сечения корродируют в среднем со скоростью 3 мм в год.

Слой анаэробных бактерий толщиной от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров образуется ниже уровня сточных вод в канализационных трубах. Бактериальный слой равномерно распределяется по длине труб. В 1 см<sup>3</sup> этого слоя содержится более 108 видов анаэробных бактерий. Толщина бактериального слоя на поверхности бетонных канализационных труб, находящегося ниже уровня сточных вод, зависит от напряжения трения в граничном слое и загрязненности сточных вод. Наличие железобактерий отмечается практически во всех местах контакта бетона с железной арматурой. На участках их развития повсеместно наблюдаются образование ржавого налета, трещины и отслаивание крупных фрагментов бетона.

Очень сильно подвержены биокоррозии цементные строительные материалы и конструкции на предприятиях пищевой промышленности. Пищевые масла и мясопродукты, дрожжи, мальтозо-паточная и кондитерская продукция, пиво и безалкогольные напитки, вино и др. способствуют ускоренному размножению грибов и бактерий, которые активно разрушают неметаллические конструкции.

При *дрожжевом производстве* пары, поднимаясь, вызывают отставание штукатурного слоя стен и потолка. Кроме того, влага с пола путем капиллярного подсоса попадает в стены. В результате штукатурка стен и потолка покрывается темными пятнами, наблюдается также частичное разрушение стен (появляются трещины). Питательная среда, на которой выращиваются пекарские дрожжи, благоприятна для развития всех микроорганизмов, в условиях сильной аэрации на ней могут развиваться, кроме дрожжей, различные виды бактерий. В связи с этим наибольшим разрушениям подвергаются полы (от разбрызгивания и расплескивания из баков и чанов технологических сред). Почти все полы покрыты мелкой сеткой трещин: участки пола, куда наиболее часто попадают питательные среды, выщерблены на глубину до 5 см, покрыты черным налетом, смываемым только водой под давлением, что также интенсифицирует разрушение цементного бетона, вызывая выщелачивание из него свободной извести.

Натурные обследования *пивоваренных заводов* показывают, что при контакте строительных конструкций с технологическими средами пивоваренного производства первые разрушаются. Причем разрушению подвергаются не только полы, фундаменты, нижние части колонн, но также и стены, теплоизоляция варочных котлов, труб.

Разрушение строительных конструкций, выполненных с применением цементных бетонов, протекает довольно интенсивно. Следует отметить, что свежее пиво активнее разрушает глиноземистый цемент, чем портландцемент. Разрушение цементного бетона на пивоваренных

предприятиях происходит как от свежего пива, так и от старого, скапливающегося в местах разрушения.

На предприятиях по *производству безалкогольных напитков* каменные строительные конструкции интенсивно разрушаются от контактов с технологическими жидкостями. В ходе обследования наиболее интенсивное разрушение полов наблюдалось в отделении мойки посуды и розлива напитков, более 50 % всей поверхности пола было покрыто трещинами, достигающими местами 5–7 см в глубину, имелись большие выбоины.

Агрессивные среды с пола по микрокапиллярам попадают на стены, в результате чего штукатурный слой отстает от поверхности стен. Сахар, эссенции, плодово-ягодные экстракты, сусло для производства хлебного кваса являются весьма сильной средой, вызывающей биокоррозию минеральных материалов, в том числе цементного камня, а следовательно, и бетона.

Сточные воды, содержащие кальцинированную соду, хлорную известь, используемые при мытье посуды и полов, также способствуют разрушению цементных бетонов: вода, вследствие диффузии, проникая вглубь бетона, насыщается известью и с течением времени вымывает из бетона свободный гидрат окиси кальция. В результате один из элементов кристаллического сростка, обеспечивающий цементному камню высокую прочность, разрушается.

Опыт эксплуатации зданий *мальтозо-патоchnого производства* показывает, что строительные конструкции помещений данного вида производства быстро выходят из строя. Текущие ремонты не дают желаемого результата: по истечении 3–4 месяцев конструкции вновь корродируют. В состав продуктов мальтозо-патоchnого производства входят сахароза, мальтоза, глюкоза, фруктоза. Глюкозиды весьма агрессивны в отношении цементных бетонов.

На предприятиях *кондитерского производства* специалисты отмечают сильное разрушение всех строительных конструкций на основе минеральных вяжущих компонентов. Керамические и чугунные плитки не защищают, а лишь немного удлиняют срок службы таких бетонов. Поскольку эти плитки укладываются на цементно-песчаные растворы, а последние разрушаются агрессивными средами кондитерского производства, такое покрытие недолговечно.

При этом следует отметить, что самыми агрессивными средами показали себя карамельная и мармеладная массы, яблочное пюре и сахарные сиропы (за счет образования легкорастворимых солей металлов, входящих в состав цемента).

Железобетонные емкости *винодельческой промышленности* должны обладать высокой химической стойкостью к действию винопродуктов,

органических кислот, спиртов, эфиров, дубильных и красящих веществ, моющих и дезинфицирующих средств; непроницаемостью и водостойкостью; высокой механической прочностью; гладкой поверхностью, предотвращающей скопление и развитие в неровностях микроорганизмов. Столь разнообразные требования осложняют применение железобетонных резервуаров без специальных защитных покрытий вследствие их малой коррозионной стойкости.

### **7.3 Природные каменные материалы**

Процессы биоповреждения характерны и для природных материалов – различных типов камня (мрамора, известняка и гранита). Интенсивное разрушение природного камня в исторических памятниках является следствием взаимосвязанных физико-химических и биогенных процессов. Микробные сообщества, формирующиеся на поверхности и в толще камня – т. н. литобионтные организмы (бактерии, микроскопические грибы, водоросли и лишайники) – активно участвуют в разрушении городской скульптуры и монументов, созданных из различных типов строительного камня.

Из поврежденных участков камня удалось идентифицировать более 90 видов микроскопических грибов (микромизетов), большинство из которых обладают способностью вызывать разрушение различных материалов. Наиболее интенсивное развитие микробов связано с такими формами разрушения природного камня (в частности, мрамора), как дезинтеграция и сульфатизация поверхности. На участках выкрашивающейся поверхности камня выявлены водоросли и грибы (более 20 видов). Формирование гипсовой корки сопровождается высокой концентрацией в ней грибов и бактерий.

Характерным признаком биоповреждения камня является также образование поверхностного биологического налета (пленки), плотность и окраска которого заметно варьируют в зависимости от доминирования определенных видов микроорганизмов. Отслаивание биопленок обычно сопровождается потерей элементов камня. Поверхностные налеты (от зеленой до черной окраски) включают преимущественно мицелиальные грибы, зеленые водоросли и эпилитные лишайники. Численность микробов в пробах материалов памятников весьма высока – от нескольких тысяч до десятков тысяч клеток на 1 грамм субстрата (породы).

Разрушительное воздействие микромизетов и других микроорганизмов на материалы памятников связано с выделением в окружающую среду различных химических соединений, обладающих высокой агрессивностью в отношении каменного субстрата и катализирующих деструктивные процессы. Среди таких веществ –

органические и неорганические кислоты, ферменты, пигменты, полисахариды.

Метаболиты микроорганизмов, выделяемые в процессе колонизации камня, способствуют закреплению на поверхности гранита пылевых частиц, оседающих из атмосферы, и формированию устойчивых органоминеральных комплексов. Электронно-микроскопическое исследование образцов разрушающегося камня показывает, что наиболее интенсивное развитие микроорганизмов происходит под коркой выветривания, что способствует отслаиванию и осыпанию поверхностного слоя камня.

Важно отметить, что микробное сообщество оказывает также физическое (механическое) воздействие на камень. Это происходит за счет того, что некоторые бактерии, грибы и водоросли способны проникать в толщу материала памятников по трещинам спайности кристаллов, волосовидным трещинам и макротрещинам. Наиболее часто подобная картина наблюдается на карбонатных породах (мрамор и известняк). Развитие микробных сообществ на гранитных памятниках приурочено к сколам и углублениям, где задерживаются влага и необходимые для роста микроорганизмов питательные вещества. Однако видовое разнообразие микроорганизмов в граните, обладающем высокой прочностью, значительно ниже, чем в мраморе и известняке.

Степень сульфатизации мраморов различного происхождения (итальянских, рускеальских, тивдийских, ювенских и т. д.) в центре города существенно больше, чем в пригородах.

Таким образом, на различных строительных материалах, природных камнях, находящихся во внутренней среде инженерного сооружения и снаружи его, формируется агрессивное и разнообразное по составу сообщество микроорганизмов, причем доминирующими видами являются активные биодеструкторы, которые широко представлены в почве. Следует отметить также, что большинство видов микроскопических грибов и бактерий обладают высокой устойчивостью к воздействию различных стрессовых факторов. Они хорошо переносят значительные колебания температуры и воздействие повышенных концентраций химических веществ.

#### **7.4 Полимерные материалы**

В последние годы в связи с интенсивным внедрением в промышленность синтетических полимерных материалов все чаще стали появляться сообщения о поражаемости полимеров микроорганизмами. Ранее предполагали, что пластики не будут подвержены действию плесневых грибов, однако недавно на поливинилхлоридных пластиках были обнаружены грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*. Коррозия пластмасс, вызываемая продуктами жизнедеятельности плесневых

грибов, приводит к снижению физико-механических показателей материала.

Был проведен ряд работ, направленных на определение поражаемости как самих пластмасс, так и их составных компонентов: смол, пластификаторов, стабилизаторов и наполнителей. Исследования показали, что наибольшему воздействию микроорганизмов подвержены пластификаторы.

Физический и биохимический механизмы развития плесени на пластмассах до сих пор хорошо не изучены. Однако есть предположение, что динамика роста грибов на пластмассе зависит от химического строения материала и его физической структуры. Например, повышенную склонность к плесневению имеют пластики, соединенные с текстилем. Сами по себе пластмассы менее подвержены разрушению микроорганизмами, чем другие неметаллические материалы, из-за их структуры и нерастворимости компонентов в воде, что ограничивает возможность их поражения грибами плесени. Однако включение в них таких добавок, как стабилизаторы, пластификаторы, красители, наполнители, часто делает материалы более уязвимыми для микроорганизмов, которые изменяют свойства и окраску пластиков, вызывая потерю сопротивляемости и эластичности. Большую роль в этом играет накопление органической пыли на поверхности материалов. Однако, даже если поверхность материала абсолютно чистая, споры содержат в себе некоторый запас питательных веществ, достаточный для начальной стадии роста грибов.

Некоторые исследователи подчеркивают, что основное высокомолекулярное вещество поливинилхлоридов (ПВХ) не поддается поражению грибами. В качестве источника питания для микроорганизмов могут служить лишь некоторые составные ПВХ – пластификаторы, стабилизаторы, мягчители, окислители, красители. Однако пластификаторы используются микроорганизмами неодинаково. Разрушение зависит от вида грибов и особенностей пластификатора.

Немецкие ученые отмечают, что грибы, скорее, поражают материал с длинными цепями молекул, например, полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол, извлекая из них углерод. В процессе воздействия на материал грибы, выделяя ферменты, разрушают длинные цепи молекул, расщепляя их на более короткие звенья, после чего они становятся доступны грибам.

После поражения материала грибами наступает его полная деструкция. Так как грибы создают благоприятные условия для роста бактерий, они могут поражать покрытия и совместно. В результате жизнедеятельности микроорганизмов в ПВХ-композициях возникают различные химические реакции, под влиянием которых происходит деструкция полимера и разрушение его поверхности. Обрастание полимерных пленок сопровождается изменением их цвета, прочности,

эластичности. Таким образом, долговечность полимерного материала при его эксплуатации в условиях жаркого и влажного климата находится в прямой зависимости от интенсивности воздействия плесневых грибов. Как правило, микроорганизмы разрушают поверхностный слой пластика или вызывают сильное окрашивание материала. Однако они не только вызывают ухудшение внешнего вида материала, но и нарушают его механические свойства.

### **7.5 Лакокрасочные материалы**

Воздействию биокоррозии подвержен также значительный спектр лакокрасочных изделий. Краски, содержащие льняное масло, краски на основе алкидных смол, полиуретанов, а также эмульсионные краски могут поражаться микроорганизмами.

Поверхности стен и потолков зданий и сооружений, подлежащие окраске или уже окрашенные, поражаются плесневыми и деревоокрашивающими грибами. Например, при эксплуатации зданий с оконными блоками, обладающими повышенной теплоизоляционной способностью, из-за отсутствия надлежащей вентиляции помещений на холодных поверхностях стен и потолков образуется конденсат. На увлажненных окрашенных поверхностях стен и потолков развиваются плесневые грибы. При этом окраска стен теряет однотонность, появляются черные и коричневые пятна, а в некоторых случаях происходит отслоение краски от поверхности стены или потолка. В некоторых помещениях всегда существуют благоприятные условия для развития грибов. В этих зданиях и помещениях поражению грибами подвергаются не только строительные конструкции, но и краска на их поверхности. Поражение может быть как прямым, так и косвенным. Установлено, что грибы синей гнили могут поражать пленку, развиваясь под ней.

### **7.6 Ковровые материалы**

В последние годы в строительстве весьма широко применяют ковровые материалы для покрытия полов. Они также очень часто подвергаются биокоррозии.

Для изготовления ковровых материалов пригодны растительные волокна (хлопковое, джутовое, сизалевое, кокосовое), шерсть, искусственные волокна (ацетат целлюлозы и др.), синтетические волокна, комбинации волокон различных видов.

Наиболее распространенными биологическими вредителями шерстяных ковровых материалов для покрытия полов являются моли, например, платяная моль *Tineola Bisseliolla*. Гусеницы (личинки) молей в качестве продукта питания потребляют белковые вещества, содержащиеся в шерсти, – кератины.

Жуки-кожееды (*Dermestidae*) также повреждают шерстяные ковровые материалы, используя кератины в качестве продуктов питания. Среди жуков-кожеедов наиболее распространены ковровый (*Anthrenus*) и меховой (*Attagenus piceus*) кожееды. Ковровые материалы повреждают как личинки жуков-кожеедов, так и взрослые жуки.

## 7.7 Древесина

Древесина имеет клеточное строение и состоит из сложных химических и механических соединений: в основном это целлюлоза (с гемицеллюлозой) и лигнин, образующие стенки клеток, а также содержимое клеток – смолы, воск, жиры, минералы и др. Целлюлоза ( $C_6H_{10}O_5 \cdot x$ ) имеет волокнистое строение, а лигнин (приближенная формула  $C_{57}H_{60}O_{10}$ ) представляет собой аморфное вещество. Количество их в древесине варьирует в зависимости от породы дерева. Так, например, в древесине сосны (в среднем) – 60 % целлюлозы, 32 % лигнина и 8 % содержимого клеток. Строение клеточной стенки можно сравнить со строением железобетона, где целлюлоза – арматура, а лигнин – бетон.

Древесина как строительный материал отличается высокими механическими и теплотехническими качествами. Ее ценные конструктивные свойства – прочность, малый вес, транспортабельность и индивидуальность изготовления строительных деталей – обуславливают экономическую целесообразность широкого применения древесины в строительстве. Наряду с этим, древесина имеет и крупный недостаток, т. е. при определенных условиях подвергается воздействию биологических агентов – дереворазрушающих грибов и насекомых.

Древесина представляет собой отмирающую или мертвую органическую материю. Как и все продукты живой природы, она при определенных режимах влажности подвержена биологическому разрушению. Среди организмов, повреждающих и разрушающих древесину, ведущее место занимают грибы, на втором месте – насекомые.

Древесина для поселяющихся на ней организмов является источником питательных веществ и местом существования. Она представляет собой сложный субстрат, осваивать который могут лишь определенные организмы. В процессе освоения древесины между этими организмами складываются сложные взаимоотношения. В основе их лежит принцип «разделения труда», направленный на наиболее полное и быстрое использование питательных веществ при минимальной затрате энергии.



Домовые грибы разрушают (уничтожают) в древесине целлюлозу, вызывая так называемую деструктивную гниль, приводящую к потере механической прочности деревянных конструкций.

Грибы-паразиты (например, сосновая губка *Trametes pini* (Th.) Fr. и многие другие) вызывают так называемую коррозионную гниль древесины, уничтожая в стенках ее меток лигнин. В результате древесина становится более светлой (на ней появляются белые пятна) и легкой. Некоторые грибы разрушают и лигнин, и целлюлозу, вызывая смешанную гниль.

Имеются грибы, которые не поражают ни целлюлозу, ни лигнин и питаются только содержимым клеток. Таковы, например, *Ceratomyces pilifera*, вызывающая синеву древесины, *Aspergillus glaucus*, покрывающий поверхность древесины зеленоватой плесенью, и др. Механическая прочность древесины под воздействием этих грибов практически не снижается.

Результаты исследования древесины, подверженной гниению, представлены в таблице 7.4.

**Таблица 7.4 – Степень повреждения различных видов древесины**

Порода	Степень повреждения гнилью	Содержание, %		
		целлюлозы	лигнина	пентозанов
Ель	Неповрежденная	56,0	23,6	9,0
	Сильно разрушенная белой гнилью	48,2	15,1	6,1
	Сильно разрушенная домовым грибом	7,8	56,6	5,8
Лиственница	Неповрежденная	53,5	29,8	10,2
	Поврежденная белой гнилью	50,2	27,6	8,4
	Сильно разрушенная бурой гнилью	9,1	48,9	7,9
Береза	Неповрежденная	53,4	17,3	25,0
	Поврежденная ложным трутовиком	42,5	18,2	16,0

Во всех случаях в срубленной древесине наиболее сильно поражается заболонь. Избирательное отношение многих грибов к заболони связано с наличием в ней более доступных элементов питания. Специфика древесины пиломатериалов как субстрата определяется тем, что обычно их готовят из свежесрубленного круглого леса, заболонь которого имеет еще живые клетки. Древесину такого состояния могут осваивать грибы, обладающие в какой-то степени выраженными паразитическими свойствами, ускоряющими отмирание клеток и заселение древесины другими видами грибов. Другая особенность пиломатериалов связана с тем, что древесина, просыхая, постепенно теряет благоприятные для грибов свойства. Однако скорость сушки пиломатериалов обычно отстает от скорости развития грибов, и к моменту высыхания они оказываются в большей или меньшей степени пораженными грибами.

### 7.7.1 Дереворазрушающие грибы

Дереворазрушающие грибы развиваются в определенных, специфических для каждого вида, внешних условиях. Особенно большое значение для их развития имеют влажность воздуха и древесины, температура и наличие кислорода.

Большинство грибов хорошо развивается лишь при высокой относительной влажности воздуха (80–95 %). Поверхностная грибница дереворазрушающих грибов имеет тонкие клеточные стенки и плохо приспособлена к высыханию. При снижении влажности воздуха она постепенно спадает и понемногу начинает отмирать. Плодовые тела грибов обычно образуются в более сухом воздухе, например в помещениях.

Ферменты, выделяемые грибами, превращают составные части древесины в более доступные, растворимые в воде соединения. Это превращение возможно лишь при наличии в древесине некоторого количества свободной влаги. Кроме того, влага необходима и потому, что грибы питаются путем отсоса, и органические вещества должны находиться в водных растворах, обеспечивающих диффузию их через оболочку внутрь клетки. В процессе усвоения грибами питательных органических веществ к ним присоединяется кислород, в результате образуются углекислый газ и вода, вследствие чего происходит постепенное биологическое самоувлажнение древесины.

Установлено, что *Merulius lacrymans* в процессе разложения 1 м<sup>3</sup> древесины с объемным весом 0,5 г/см<sup>3</sup> выделяет 139 л воды при уменьшении веса древесины на 50 %.

В процессе разложения лигнинразрушающие грибы влажность древесины не повышают. Целлюлозоразрушающие грибы, наоборот, выделяют значительные количества воды, что практически приводит к увлажнению древесины. Например, *Merulius lacrymans* вызывает так называемую мокрую гниль древесины. Таким образом, если древесина содержит некоторое количество свободной влаги и находится в условиях, исключающих ее высыхание, то возможно прорастание спор или оживление грибницы, присутствующей в древесине, причем в дальнейшем разложение распространится и усилится в результате биологического самоувлажнения древесины.

Необходимую энергию грибы получают в процессе аэробного дыхания, т. е. для их жизнедеятельности необходимо определенное количество кислорода в окружающей среде.

Потребность в кислороде у грибов различна. Так, грибница *Merulius lacrymans* при отсутствии кислорода в течение 2 дней отмирает. Однако некоторые грибы, например *Stereum hirsutum*, *St. frustulosum* и др., могут длительно развиваться при низком содержании кислорода. Грибы-сапротифы обычно потребляют значительно большее количество кислорода, чем грибы-паразиты. Из-за недостатка кислорода развитие большинства грибов также приостанавливается и при полном насыщении

древесины водой (при влажности древесины выше 165–200 %). Исключение составляют некоторые грибы, поверхностная грибница и ризоморфы которых способны доставлять кислород субстратной грибнице. Например, гриб *Armillaria mellea* поражает обычно молодую водопроводящую древесину, не содержащую воздуха. Таким образом, для развития грибов необходимо определенное соотношение объема воздуха и воды в древесине.

Развитие того или иного гриба возможно только при определенной влажности древесины. Так, *Merulius lacrymans* может разрушать древесину при значительно меньшей ее влажности, чем *Paxillus acheruntius*. Однако *Paxillus acheruntius* может успешно развиваться при высоком увлажнении древесины (до 50–80 %), при котором рост *Merulius lacrymans* замедляется и прекращается.

Большинство дереворазрушающих грибов, за исключением *Merulius lacrymans* и некоторых других, развивается при влажности выше гигроскопической, при этом объем свободной влаги должен быть не меньше 10 %. Наиболее благоприятна для домовых грибов влажность древесины, равная 30–60 % к сухому весу. Такая влажность чаще всего бывает в недавно срубленной или сплавленной древесине, а также в деревянных частях зданий и столбов, соприкасающихся с грунтом.

Активная жизнедеятельность дереворазрушающих грибов возможна лишь при положительных температурах, однако понижение температуры ниже нуля обычно не приводит к гибели большинства грибов. Особой стойкостью отличаются споры и плодовые тела (пробковатые и деревянистые). Грибница, находящаяся внутри или на поверхности древесины, по-разному реагирует на изменения температуры. Так, грибница, находящаяся в пораженной древесине, хорошо противостоит действию низких температур и способна в течение длительного времени выдерживать целый ряд неблагоприятных условий.

При температуре ниже 3 °С большинство грибов не растет и не разрушает древесину, при температурах от 3 до 10 °С гниение протекает очень медленно. По мере повышения температуры скорость роста гриба и разложения древесины достигает максимума, после которого начинает снова снижаться.

Каждый гриб имеет характерную кривую с оптимальной температурой, соответствующей скорости роста, минимальной и максимальной, при которых рост гриба замедляется и прекращается. Оптимальная температура роста соответствует с небольшими отклонениями и максимальной скорости разложения древесины, вызываемой данным видом гриба.

В зависимости от оптимальной температуры роста иногда грибы искусственно делят на несколько групп:

1 Грибы, успешно развивающиеся при низкой температуре (20–24 °С), например *Merulius lacrymans*, *Coniophora cerebella*, *Paxillus acheruntius*, *Fomes annosus*, *Corticium laeve*, *Phellinus pini* и др.

2 Грибы, для которых желательны средние температуры (24–32 °С), например *Poria vaporaria*, *Lentinus lepideus*, *Peniophora gigantea*, *Trametes serialis*, *Tr. versicolor*, *Stereum frustulosum*, *Phellinus igniarius* и др.

3 Грибы, хорошо развивающиеся при высокой температуре (выше 32 °С), например *Lenzites sepiaria*, *Ganoderma lucidum* и др.

В большинстве случаев наблюдается, что грибы, имеющие более низкую температуру-оптимум, обычно трудно переносят дальнейшее повышение температуры в отличие от грибов с высоким температурным оптимумом. Однако на скорости разложения древесины снижение температуры меньше сказывается при поражении древесины грибами, имеющими оптимум в пределах низких температур, чем при поражении грибами, имеющими оптимум в пределах высоких температур.

Дереворазрушающие грибы по-разному приспосабливаются к колебаниям температур. Этим в значительной степени определяется распространенность того или иного из них, например, домовых в различных частях здания. Так, *Merulius lacrymans*, приспособившийся к существованию в узком пределе положительных температур, не поражает древесину на открытых складах, в неотопливаемых конструкциях. Чаще всего он встречается в полах первых этажей, *Poria varogata* – в междуэтажных, *Coniophora cerebella* – в чердачных перекрытиях.

Колебания температур в природных условиях (суточные, сезонные) оказывают в основном стимулирующее действие на развитие грибов, особенно на их плодоношение.

На деятельности дереворазрушающих грибов отражается также величина рН субстрата, т. е. степень кислотности или щелочности питательной среды, в данном случае древесины. Установлено, что грибы способны регулировать рН среды в определенных пределах, причем целлюлозоразрушающие грибы понижают кислотность среды до более низких значений рН, чем лигнинразрушающие. Лигнинразрушающие грибы, в частности грибы-паразиты, регулируют среду до значений рН, соответствующих кислотности среды живого растущего дерева, и обычно подкисляют среду меньше, чем целлюлозоразрушающие грибы. Целлюлозоразрушающие грибы выделяют значительное количество органических кислот, в частности щавелевую. *Coniophora cerebella* в процессе жизнедеятельности также выделяют кислоты: муравьиную, уксусную, лимонную.

Каждый гриб имеет характерную кривую с оптимальным значением рН среды, соответствующим наибольшей скорости роста гриба, минимальным и максимальным значениями, при которых рост замедляется и прекращается.

На рост и активность дереворазрушающих грибов оказывают влияние и некоторые вещества, содержащиеся в древесине, например соединения азота. Установлено, что гифы грибов проникают в древесину и разрастаются в ней преимущественно по сердцевинным лучам, в которых сосредоточена основная масса азотных соединений древесины. На жизнедеятельности грибов отражается присутствие соединений натрия, магния, фосфора, калия, кальция и целого ряда других веществ в микродозах. Витамины и стимуляторы роста являются важной составной частью питания грибов, особенно грибов-паразитов. Одной из причин гибели этих грибов после рубки дерева является прекращение притока витаминов и стимуляторов роста.

**Грибы, поражающие древесину**, можно разделить на четыре группы, согласно типу повреждения. Это грибы:

- плесени;
- синевы;
- гнили;
- умеренной гнили.

**Грибы плесени.** Считается, что если грибы развиваются на поверхности и могут быть удалены щеткой, – это грибы плесени. Интенсивное поражение неметаллических материалов различного происхождения плесневыми грибами связано с тем, что они мало специализированы по отношению к субстрату и обладают высокой приспособляемостью к изменениям условий среды обитания. Как известно, основными элементами питания грибов являются углерод и азот, в меньших количествах – фосфор, железо, кальций и магний. Источником энергии для грибов служит глюкоза.

Способность плесневых грибов поражать такой широкий круг материалов объясняется наличием у них большого набора ферментов, состав которых может меняться в зависимости от источников питания. Плесневые грибы, благодаря наличию у них редуктаз, способны к неполному разрушению углеводов в присутствии кислорода воздуха, вследствие чего они являются возбудителями окислительного брожения. Фумаровая, глюконовая, щавелевая, янтарная и другие кислоты, являющиеся промежуточными продуктами этого процесса, вызывают коррозию органических материалов – разъедание, снижение веса, изменение окраски, потерю прочности.

Все эти поражения сопровождаются изменением цвета древесины. Развитие процесса гниения начинается в древесине с влагосодержанием не ниже 18–20 % в присутствии воздуха и при положительной температуре в интервале от 5 до 45 °С. В древесине с очень высокой влажностью грибы развиваются медленно. Под водой гниения не происходит из-за отсутствия свободного воздуха. Грибы легко переносят длительное воздействие низких температур, но нагрев

выше 100 °С, особенно при наличии паров воды, обеспечивает стерилизацию древесины.

**Грибы синевы.** Эти грибы чаще всего поражают заболонную древесину и образуют черные или серые пятна. Они проникают на большую глубину и для своего питания используют неструктурные элементы древесины – сахара и крахмалы. Раньше считалось, что это оказывает небольшое влияние на прочность древесины. Однако не так давно появились работы, указывающие на то, что грибы синевы в зависимости от условий и вида могут оказывать значительное негативное влияние на физико-механические показатели древесного материала.

По интенсивности окраски грибы синевы обычно подразделяются на *светлые*, окрашивающие древесину в бледные тона, не маскирующие ее текстуру, и *темные*, окрашивающие древесину в темные тона, маскирующие ее структуру.

В зависимости от характера заражения древесины различают поверхностные и глубокие окраски и два специальных вида поражений – подслоную и подкладочную синеву.

К *поверхностным* относятся окраски, не проникающие вглубь древесины более чем на 2 мм, т. е. примерно на величину пропуска на строжку. Они часто имеют вид мелких округлых или слегка вытянутых вдоль волокон пятен диаметром 1–2 см и представляют собой колонии, образовавшиеся от попавших на древесину спор или каких-либо репродуктивных частей гриба.

К *глубоким* относятся окраски, хорошо заметные на поверхности и проникающие вглубь древесины более чем на 2 мм.

Несколько вытянутая вдоль волокон древесины форма пятна связана с более быстрым ростом грибов в этом направлении. Ограниченное распространение грибов вглубь древесины и по поверхности чаще всего бывает связано с задержкой их роста в результате подсыхания древесины или действия каких-либо других неблагоприятных факторов и реже – в результате особенностей развития самих грибов.

*Подслоная синева* – это окраска, встречающаяся только во внутренних слоях древесины. Благоприятные для развития подслонной синевы условия складываются, например, при быстром подсыхании поверхности зараженной древесины или при запоздалом поверхностном антисептировании. Зона скрытой синевы может колебаться от 5 до 12 мм в зависимости от вида гриба.

*Прокладочная синева* возникает при укладке древесины на прокладки из неантисептированного сортамента или на сырые и зараженные рейки.

В результате естественного отмирания живых клеток и параллельно начинающейся деятельности грибов происходит изменение цвета древесины лиственных пород, так называемое *лобурение*. Заболонь окрашивается в серые и буроватые тона, на фоне которых, как результат

развития грибов, могут появляться коричневые, лиловатые или синеватые, а иногда и белесые полосы.

Деревоокрашивающие грибы в различной степени способны изменять свойства древесины. Наряду с наиболее активными, опасными видами грибов существуют и такие, которые практически не оказывают влияния на свойства древесины или даже изменяют их благоприятную сторону. Гриб *Piscula brunneo-timgens*, вызывающий кофейно-бурую окраску заболони сосны, практически не изменяет водопоглощение древесины и ее стойкости против дереворазрушителей.

*Столбовой гриб* главным образом поражает древесину, находящуюся в открытых сооружениях: мостах, эстакадах, столбах линии связи и шпалах железнодорожных путей.

Зарегистрировано много случаев развития столбового гриба в конструкциях жилых зданий, где он вызывает разрушения ответственных деталей, концов деревянных балок, мауэрлатов, концов стропильных ног и др.

*Шпальный гриб* встречается совместно со столбовым грибом в открытых сооружениях и на лесоскладах. Особенно сильно разрушает железнодорожные шпалы, а также деревянные части морских и речных судов, вызывая гниль бурого цвета с крупными продольными трещинами. Образует на поверхности древесины и в трещинах белую войлочную грибницу с коричневыми пятнами. Древесина, пораженная шпальным грибом, имеет характерный ванильный запах.

Грибы гнили. Наибольшую опасность представляют грибы, вызывающие гниль. Для своего питания грибы гнили используют стенки клеток. Это резко снижает прочность древесины.

Грибы гнили возникают на древесине, когда она увлажнена до точки насыщения волокон и более. Однако это происходит, когда полости клеток не содержат слишком много воды. Споры проникают в древесину через поры и пробуравливают стенки клеток с использованием соответствующих энзимов.

Особенно часто гниение древесины вызывают грибы *Serpula lacrimans*, *Coniophora puteana*, *Lenzites trabea*. Исследований по влиянию дереворазрушающих грибов на физико-химические свойства древесины показали, что различные грибы вызывают разную степень разрушения. Так, например, грибок *Coniophora puteana* разрушает целлюлозу, а лигнин остается без изменений, другой грибок *Serpula lacrimans* разрушает именно лигнин.

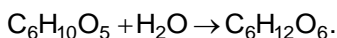
В последние годы исследователи начали изучать другую форму разрушения древесины – гнили, называемые *Softrot*, которые размягчают поверхность материала с четким разделением гниющей и здоровой древесины.

Возбудителями умеренной гнили являются комплексы из некоторых несовершенных грибов, бактерий, водорослей.

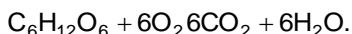
Грибы умеренной гнили. Умеренная гниль часто встречается и в деревянных элементах конструкций, постоянно омываемых водой, таких как градирни, деревянные трубы, подводные части речных и морских сооружений, детали бань. Этой гнилью поражаются деревянные части, находящиеся в контакте с землей, – подземные части столбов, изгородей, линий связи, детали теплиц. Особенно сильные повреждения умеренная гниль наносит в тонких элементах оросительной системы градирен тепловых электростанций.

Среди грибов умеренной гнили наибольшую опасность вызывают *домовые грибы*, представляющие собой группу дереворазрушающих микроорганизмов, приспособившихся к условиям среды (температуре, влажности) в зданиях и сооружениях.

Домовые грибы уничтожают в древесине целлюлозу, вызывая деструктивную гниль. Химическая сущность деструктивной гнили выражается следующим образом: целлюлоза под воздействием энзима (фермента) гриба и в присутствии воды превращается в глюкозу ( $C_6H_{12}O_6$ ):



Затем под воздействием другого энзима и в присутствии кислорода воздуха глюкоза окисляется и превращается в углекислый газ ( $CO_2$ ) и воду ( $H_2O$ ), которые улетучиваются и испаряются из древесины:



В итоге целлюлоза исчезает из древесины – это микроструктурная сущность деструктивной гнили. Макроструктурная сущность деструктивной гнили (видоизменения древесины, определяемые визуально) заключается в том, что древесина темнеет, становится коричневой, темно-коричневой, пересекается глубокими продольными и поперечными трещинами, разделяющими ее на призмочки и кубики, становится легкой, хрупкой и без труда растирается пальцами в порошок.

При своем развитии домовые грибы образуют на поверхности древесины видимые глазом скопления нитей. Количество спор, выделяемое каждым плодовым телом, очень велико. Благодаря своим микроскопическим размерам споры легко подхватываются воздухом, водой, насекомыми, животными и людьми и разносятся на значительные расстояния.

Попадая на поверхность влажной древесины, спора прорастает в тончайшую грибную нить, разрастаясь и ветвясь, внедряется в древесину и дает начало новому очагу поражения. Существует много видов дереворазрушающих грибов. Они различаются между собой по



форме, строению и окраске грибницы, шнуров, плодовых тел и спор, а также по скорости и силе разрушения древесины.

**Строение домового гриба** (рисунок 7.1). *Грибница, или мицелий.* Грибница состоит из тончайших нитей (гиф), диаметр которых колеблется обычно в пределах 1–10 мк (иногда больше).

Гифы проникают в древесину, образуя, так называемую внутреннюю грибницу (микроструктурные нити, не видимые невооруженным глазом), или располагаются на поверхности деревянных элементов (конструкций), образуя наружную, или воздушную, грибницу. Воздушная грибница, или воздушный мицелий, представляет собой паутино-, вато- или пленкообразные макроструктурные скопления гиф на поверхности древесины; в зависимости от вида гриба имеет самую разнообразную окраску (белую, серую, желтую, коричневую и т. д.). Грибница развивается при наличии влаги, но может сохранять жизнеспособность и в неблагоприятных условиях (в воздушно-сухой древесине) в течение некоторого времени, после чего погибает.

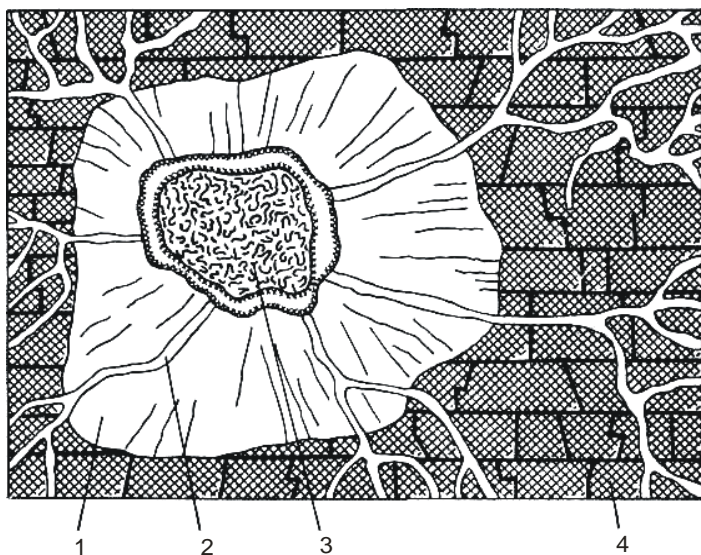


Рисунок 7.1 – Общее схематическое строение домового гриба:

1 – грибница (мицелий), состоящая из гифов; 2 – шнуры (тяжи); 3 – плодовое тело, содержащее споры; 4 – гнилая древесина (так называемая деструктивная гниль)

**Шнуры, или тяжи.** Шнуры – это веревкообразные (бечевкообразные) скопления гиф разного цвета (белые, серые и т. д.) общим диаметром до 8–10 мм и длиной до 1 м и более.

Назначение шнуров – подводить питательные вещества к развивающемуся мицелию и плодovому телу (см. ниже). Иногда шнуры

внешним видом напоминают корни деревьев: имеют весьма большую длину (несколько метров) и темно-бурый, почти черный, цвет; их гифы наполнены запасными питательными веществами. Такие шнуры носят название ризоморф и могут долго (год и более) сохранять свою жизнеспособность в неблагоприятных условиях. Иногда среди мицелия встречаются шаровидные образования диаметром 2–3 мм, так называемые склероции; их клетки заполнены питательными веществами, необходимыми для развития гриба. Склероции, так же, как и ризоморфы, обладают длительной стойкостью при неблагоприятных условиях и являются своего рода резервными пищевыми складами.

*Плодовое тело.* Плодовые тела располагаются на поверхности древесины, они содержат споры, служащие для размножения гриба. Плодовое тело в зависимости от вида домашнего гриба может иметь весьма разнообразную форму (в виде пленки, лепешки, подушки, шляпки), различную консистенцию (мясистую, кожистую, пробковую, деревянистую), диаметр – от нескольких сантиметров до одного метра и разные цвета (от белого до черного). Наружный слой плодового тела (гименофор, или гименофорный слой), содержащий споры, имеет различное строение: он может быть в виде пластинок, трубочек, складок, сетки, иголок или же представлять собой гладкую поверхность (в зависимости от вида домашнего гриба).

Размножение грибов происходит спорами (или частицами гиф), которые, попадая в благоприятные условия, прорастают в разветвленные грибницы и образуют новые организмы грибов.

Споры – микроскопические частицы самых разнообразных форм (овальные, эллипсоидные, бобовидные, цилиндрические и т. д.), размерами 2–12 мкм, самых различных расцветок. В 1 мм<sup>3</sup> может содержаться до 5 миллионов спор, а количество их, выделяемое за вегетационный период одним плодовым телом величиной 15×20 см, исчисляется миллиардами. В помещениях, где развились домашние грибы с плодовыми телами, в 1 м<sup>3</sup> воздуха содержатся сотни тысяч спор. Они переносятся потоками воздуха, насекомыми, грызунами, на обуви и одежде людей, а также на инструментах и т. д. Споры могут сохранять жизнеспособность в течение 3–10 лет.

Для развития домашних грибов, т. е. гниения древесины, необходима совокупность целого ряда условий.

*Древесина.* Древесина как питательная база может быть более или менее благоприятным субстратом для домашних грибов. Известно, что некоторые домашние грибы поражают только хвойные, другие – лиственные, а третьи – и хвойные, и лиственные породы деревьев. Это зависит от вида грибов – наличия в них соответствующих ферментов, а также от древесины – наличия в ней смолы, камеди, дубильных и других веществ. Одни из этих веществ (танины) являются ядами для многих грибов, другие (смолы) – закупоривают трахеиды и клетки, лишая их

притока кислорода и воды и таким образом препятствуя развитию гнилостных процессов или значительно задерживая их.

Кроме того, выяснено, что плотная древесина (с более узкими годовыми кольцами) является более грибоустойчивой. Медленнее разрушаются гниением и породы деревьев, выросших на больших высотах над уровнем моря.

Из сказанного следует, что соответствующим подбором древесных пород можно ослабить опасность поражения деревянных конструкций некоторыми домовыми грибами. Так, например, применяя для ответственных элементов и конструкций дуб, можно уменьшить вероятность их поражения «настоящим» домовым грибом.

*Споры или частицы гиф.* Из них начинается развитие грибного организма. Выше указывалось, что микроскопические споры и частицы гиф, весьма легко распространяются по строительным объектам, строительным площадкам и складам лесопиломатериалов, вызывая заражение древесины. Поэтому можно без преувеличения утверждать, что значительная часть древесных материалов на складах, а также деревянные конструкции в строящихся и существующих зданиях и сооружениях инфицированы тем или иным видом домовых грибов. Из сказанного следует, что бороться с гниением путем ограждения деревянных элементов в отдельности или объектов в целом невозможно.

*Кислотность среды.* Домовые грибы для своего развития требуют кислой среды и не развиваются на субстрате, имеющем ясно выраженную щелочную реакцию. Кислотность, нейтральность или щелочность среды, как известно, обуславливаются концентрацией водородных ионов и обозначаются символом рН, численное значение которого для кислой среды  $pH < 7,07$ , для воды и нейтральных растворов  $pH = 7,07$ , а щелочная реакция среды характеризуется  $pH > 7,07$ .

Кислотность древесины обуславливается содержанием клеточных полостей. Установлено, что интенсивное развитие домовых грибов происходит при  $pH = 3 \dots 6,6$ ; развитие их прекращается при  $pH_{\min} = 1,5 \dots 3$  или при  $pH_{\max} = 6,6 \dots 8,2$  (в зависимости от вида домового гриба).

Отмечено также, что некоторые домовые грибы (например, пленчатый домовый гриб) поражают древесину, имеющую весьма слабую кислую реакцию, а затем в результате своей жизнедеятельности усиливают кислотность и тем самым создают благоприятные условия для развития других домовых грибов, требующих кислой среды (например, настоящий домовый гриб). Изменить кислотность среды с целью предупреждения развития грибов практически невозможно.

*Освещенность.* Степень освещенности естественным дневным светом оказывает некоторое влияние на развитие домовых грибов. Домовые грибы могут развиваться в абсолютной темноте, но рассеянный (диффузный) дневной свет ускоряет, а прямой солнечный свет

замедляет их развитие (при инсоляции прекращает свое развитие настоящий домовый гриб). Однако варьирование освещенности деревянных конструкций с целью их защиты от гниения не является практически осуществимым защитным мероприятием.

*Кислород.* Кислород, получаемый домовыми грибами из воздуха, необходим для их жизнедеятельности. Уже указывалось, что реакция превращения глюкозы в углекислый газ и воду происходит только при участии кислорода. Создать закрытые деревянные конструкции и преградить к ним доступ воздуха возможно только путем погружения конструкции в воду или мокрый грунт.

*Температура.* Температура окружающего воздуха ускоряет, замедляет или прекращает развитие домовых грибов. Для каждого вида домового гриба различают определенную минимальную, оптимальную и максимальную температуру. Так, например, для настоящего домового гриба она соответственно составляет 8, 23 и 27 °С; но температура, которая убивает грибы, находится далеко за границами этого температурного интервала, а именно: для грибницы – +40 (при воздействии в течение 1 ч) или –20 °С (при воздействии в течение 3 ч), для спор – +100 (при воздействии в течение 6 ч) или +75 °С (при воздействии в течение 24 ч). В среднем можно принять благоприятный вегетативный температурный интервал от 5 до 40 °С. Обеспечить деревянным конструкциям и сооружениям постоянную температуру за пределами этого интервала практически невозможно, за исключением редких случаев (например, сохранение древесины в вечномерзлом грунте).

*Влажность.* Влажность древесины – основное условие для развития домовых грибов. Для каждого вида гриба существуют определенные границы минимальной, оптимальной и максимальной влажности, стимулирующей или тормозящей развитие гриба. Так, например, для настоящего домового гриба отмечены следующие показатели абсолютной влажности древесины: минимальная – 18, оптимальная – 20–35 и максимальная 120 % (учитывая его обильное самоувлажнение). В среднем, вегетативный интервал влажности древесины, необходимый для развития домовых грибов, составляет 20–70 %. Установить влажность ниже 20 % можно путем высушивания древесины до воздушно-сухого состояния (равновесная влажность воздушно-сухой древесины не превышает 10 % при относительной влажности воздуха 50 % и температуре 20 °С). Сохранение воздушно-сухого режима древесины становится возможным при проведении соответствующих мероприятий на протяжении всего времени эксплуатации строительных объектов. Влажность выше 70 % (до полного заполнения полостей древесины водой) обеспечивается путем погружения в воду деревянных конструкций также на все время эксплуатации строительных объектов.

Таким образом, гниение можно предотвратить, исключив доступ воздуха к деревянным конструкциям, установив влажность ниже 20 или выше 70 %, а также путем антисептирования; последнему принадлежит решающая роль в защите от гниения открытых деревянных сооружений (мосты, эстакады, столбы, башни и т. д.).

**Классификация и диагностика домовых грибов.** В микологии (науке о грибах) грибы классифицируются по классам, подклассам, группам, порядкам, семействам, родам и видам.

Домовые грибы относятся к высшим грибам класса базидиальных (*Basidiomycetes*), к подклассу холобазидиальных (*Holobasidiomycetes*) и к порядку гименомицетов (*Hymenomycetes*), который в свою очередь делится на семейства, роды и виды.

**Семейство *Meruliaceae* – мерулиусовидные грибы (настоящий домовый гриб, малый домовый гриб).** Мерулиусовидные грибы характеризуются мицелием со шнурами. Плодовое тело – перепончатое или в виде довольно толстых пленок, распростертых на поверхности древесины.

*Настоящий домовый гриб* – *Serpula lacrymans* (Wulf. ex Fr.) Bond. Syn., *Merulius lacrymans* Fr., *Merulius domesticus* Falck, *Merulius destruens* Pers. (рисунок 7.2).

а)



б)



в)



Рисунок 7.2 – Настоящий домовый гриб – *Serpula lacrymans*  
(Wulf. ex Fr.) Bond. Syn.:

а – молодое плодовое тело; б – старое плодовое тело; в – шнуры, старая  
грибница и гниль древесины

Плодовое тело – большое, широко распростертое, до 0,5 м и более в поперечнике, толстое (1–4 см толщиной), нередко выделяющее на своей поверхности капли водянистой жидкости; край – утолщенный, белый, хорошо отграниченный; гименофор – крупносетчатый, извилисто-зубчатый, охряно-желтый, затем ярко-ржавый, темно-ржавый или оливково-ко-ричневый. Шнуры (тяги) – плоские, серые, хрупкие. Настоящий домовый гриб является сильнейшим из разрушителей древесины. Он чаще всего встречается на поверхности пораженной древесины в виде плотных серых клеток с шелковистым блеском.

Настоящий домовый гриб обычно встречается в старых зданиях, в подвалах и овощехранилищах.

При благоприятных условиях этот гриб может очень быстро (за 6–10 месяцев) полностью разрушить крупные деревянные элементы и целые конструкции. Древесина, сгнившая от настоящего домового гриба, имеет бурый цвет, крупные продольные и поперечные трещины.

*Малый домовый гриб, или серпула малая, – Serpula minor (Falck) Bond. Syn. Merulius minor Falck.* Похож на настоящий домовый гриб, но отличается от последнего: плодовое тело значительно тоньше, более нежной структуры; шнуры – тонкие, нитевидные, плоские, ветвящиеся, желтоватые; грибница – тонкая, вначале белая, затем с лимонно-желтоватым оттенком.

**Семейство Polyporaceae – трутовые грибы (белый домовый гриб, фибулопориа Вайланта, окаймленный трутовик, столбовый гриб и глеофилум пихтовый).** Трутовые грибы имеют пробковидные, деревянистые или мясистые плодовые тела в виде шляпок на ножке и без ножки, прикрепленных боком и принимающих различную форму (копыт, консолей, полочек, губок и пр.) или распростертых по древесине в виде пленок, пластинок или подушечек, иногда с одной стороны слегка отстающих.

*Белый домовый гриб, или кориолус испаряющий, – Coriolud vaporarius (Fr.) Bond, et Sing. Syn. Poria vaporaria Bres., Polyporus vaporarius Fr., Poria incerta Murr.* (рисунок 7.3).

Плодовое тело обычно небольшое, распростертое, приросшее, почти корковидное, вначале беловатое, затем цвета древесины, а под конец рыжеватое-желтое; край отсутствует или очень узкий; шнуры – круглые (3–4 мм в диаметре), эластичные, с бархатистой поверхностью, мало разветвленные. Белый цвет грибницы сохраняется и у старых образцов. Оптимальные условия развития: температура 27 °С, влажность – 35 %. Это также один из опаснейших разрушителей застроенной древесины.

*Фибулопориа Вайланта* – *Fibuloporia Vailantii* (DC. ex Fr.) Bond, Syn. *Poria Vailantii* DC. ex Fr., *Poria vaporaria* Pers. Плодовое тело – распростертое, слабо приросшее, кожисто-мясистое, при высыхании часто отделяющееся по краям от древесины; шнуры – тонкие, толщиной около 1 мм, длинные, сильно ветвистые. Мицелий имеет пленчатое строение. Гриб поражает хвойную древесину в чердачных и подвальных перекрытиях, вызывая бурую, крупнотрещиноватую гниль; встречается часто по всей умеренной зоне северного полушария.

а)



б)

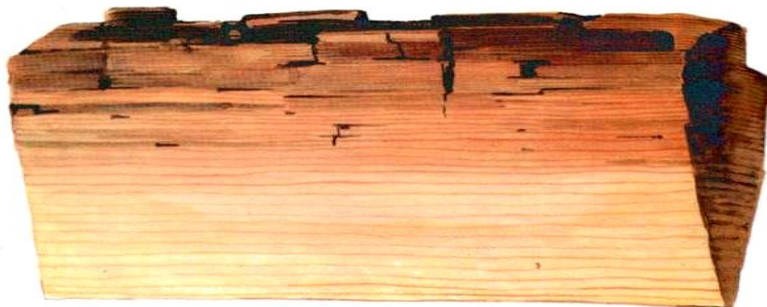


Рисунок 7.3 – Белые домовые грибы:

а – шнуры гриба *Fibuloporia vaillantii* (Fr.) Bond. Et Sting.; б – гниль древесины, вызванная грибом *Coriolellus sinuosus* (Fr.) Sarkar var. *vaporarius* (Fr.) Pil

*Окаймленный трутовик, или фомитопсис сосновый* – *Fomitopsis pinicola* (Sw. ex Fr.) Karst. Syn. *Polyporus pinicola* Sw. ex Fr., *Fomes pinicola* (Sw.) Sck (рисунок 7.4).

Плодовые тела – подушковидные или копытообразные, от пробковой до деревянистой консистенции; поверхность бороздчатая, светло-желтая, желто-оранжевая, красновато-каштановая или киноварно-красная, потом – почти черная; край сверху – желтоватый, оранжево-красный или киноварно-красный. Под воздействием окаймленного трутовика древесина становится вначале розовой, затем красновато-бурой и, наконец, бурой. Гриб



поражает преимущественно древесину нежилых построек и особенно открытых сооружений (мостов, эстакад, трибун, столбов и др.), причем вегетирует как на хвойных, так и на лиственных породах деревьев. Встречается по всей умеренной климатической зоне.

*Столбовой, или заборный, гриб* – *Gloeophyllum sepiarium* (Wulf. ex Fr.) Karst. Syn. *Lenzites sepiaria* Wulf. ex Fr. Плодовое тело – тонкое, половинчатое, в виде шляпки без ножки или полураспростертое до распростертого, пробковидное или пробковидно-кожистое; верхняя поверхность – неровная, бороздчатая, волосистая, ярко-ржавая, ржаво-бурая или почти черная; край – острый, светло-ржавый, позднее желто-бурый; пластинки разветвленные, радиально расположенные на расстоянии 0,5–1 мм одна от другой.



Рисунок 7.4 – Плодовые тела окаймленного трутовика *Fomitopsis pinicola* (Fr.) Karst. и вызванная им гниль ели

*Глеофилум пихтовый* – *Gleophyllum abietinum* (Bull ex Fr.) Karst. Syn. *Lenzites abietina* Bull. ex Fr. Плодовые тела – в виде шляпок без ножек, иногда распростертые с отогнутым краем; поверхность шляпки неровная, сначала войлочная, коричневато-бурая, затем гладкая, темно-бурая, наконец, коричневато-черная, со слабыми концентрическими полосами. Глеофилум пихтовый похож на столбовой гриб. Развивается преимущественно на ели.



**Семейство Agaricaceae – пластинчатые грибы (пластинчатый домовый гриб, шпальный гриб).** Пластинчатые грибы имеют мясистые и хрящеватые плодовые тела большей частью в виде шляпок с центральной или боковой ножкой, реже – без ножки (шляпки прикреплены боком к древесине).

**Пластинчатый домовый, или шахтный, гриб – *Paxillus panuoides* Fr. Syn. *Paxillus acheruntius* (Humh.) Schroet** (рисунок 7.5). Плодовые тела – в виде шляпок диаметром 2–6 см, тонкие, мясистые, различной формы; обычно – веерообразные, раковинчатые, куполовидные или распростертые, нередко раздвоенные, суженные у основания, сидячие или с короткой ножкой; поверхность шляпки вначале опушенная или нежно войлочная, особенно по краю, затем гладкая, желтовато-кремовая или желтовато-охряная, иногда с грязноватым оттенком, переходящим в слабый фиолетовый цвет, под конец – буроватая; пластинки радиально расходятся из одного центра. Пораженная древесина сначала окрашивается в зеленовато-желтый цвет, а затем буреет. Пластинчатый домовый гриб встречается главным образом в подпольях, междуэтажных перекрытиях с торфяной засыпкой, стенах каркасных зданий, утепленных торфом, в рудничных шахтах. Оптимальные условия для его развития: влажность древесины – 50–70 %, влажность воздуха – 100 %.

а)



б)



Рисунок 7.5 – Шахтный гриб – *Paxillus panuoides* Fr:  
а – плодовые тела и грибница; б – гниль

**Шпальный гриб, или лентинус чешуйчатый**, – *Lentinus lepideus* (Buxb.) Fr. Syn. *Agaricus lepideus* Buxb., *Lentinus squamosus* (Schaeff.) Quet. Плодовые тела – в виде шляпок. Шляпка довольно толстая, вначале мясистая, упругая, плотная, позднее – деревянисто-кожистая, до 12 см в диаметре, сначала – выпуклая, потом – распростертая, в середине прижатая; поверхность шляпки – бледно-охряная, желтая или рыжеватая, покрытая крупными разорванными чешуйками, принимающими вскоре более темную окраску; края шляпки – тонкие, вначале подвернутые, позднее приподнятые и извилистые. Встречается в подвалах, в элементах, граничащих с землей, в шахтах, сараях и является основным разрушителем хвойных шпал.

**Семейство *Thelephogaseae* – телефоровые грибы (пленчатый домовый гриб, пениофора гигантская)**. Телефоровые грибы имеют плодовые плесневидные тела в виде распростертых пленок или тонких кожистых шляпок. Гименофор – гладкий или слегка бугорчатый.

**Пленчатый домовый гриб, или кониофора мозжечковая**, – *Coniophora cerebelta* (Pers.) Schroet. Syn. *Coniophora puteana* Fr (рисунок 7.6).

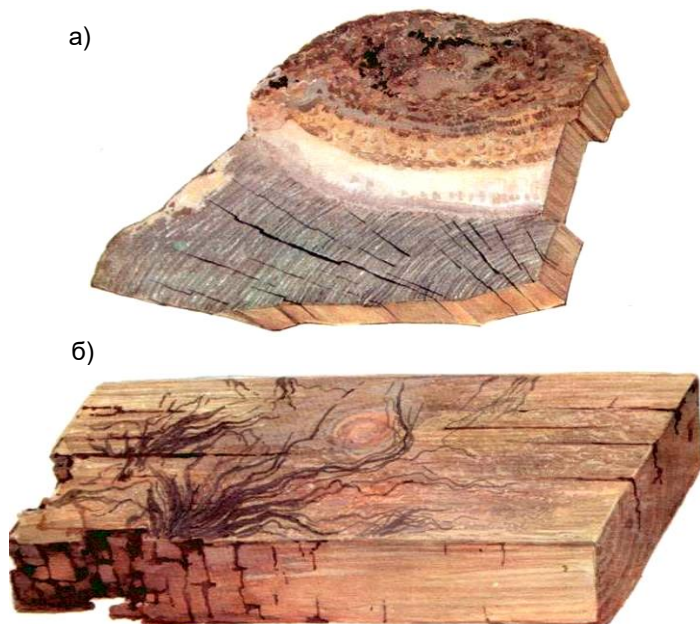


Рисунок 7.6 – Пленчатый домовый гриб –  
*Coniophora puteana* Fr.:  
а – плодовое тело;

б – гниль древесины и шнуры гриба

Плодовое тело – плоское, широко распростертое, мясистое, перепончатое, легко отделяющееся от древесины, сначала – толстоватое, беловатое, затем – спадающее, желтовато-буроватое до бурого, с беловатым волокнистым краем; гименофор – гладкий, слабо волнистый или неровно бугорчатый, под конец покрытый оливково-бурым налетом обильно отделяющихся спор. Характерна деструктивная гниль: древесина пронизывается весьма мелкой сеткой продольных и поперечных трещин. Такая структура гнили не встречается при поражении древесины другими домовыми грибами и поэтому является существенным признаком для диагностики этого гриба.

Оптимальные условия развития: влажность древесины – 45–65 %, температура – 20–25 °С.

*Пениофора гигантская* – *Peniophora gigantea* (Fr.) Masee Syn. *Corticium giganteum* Fr. Плодовое тело – широко распростертое, длиной до 50 см, толщиной 2–5 мм, восковидное, молочно-белое или слегка желтоватое, по краям – лучистое, в сырую погоду – разбухающее, при высыхании – пергаментовидное и легко отделяющееся от древесины. Пениофора гигантская разрушает древесину сильно, но сравнительно медленно. Хорошо развивается в слабокислой, нейтральной и даже слабощелочной среде при оптимальной температуре 25 °С и при весьма высокой влажности древесины. Часто встречается в мостах, эстакадах, шахтах, подвалах, в постройках из сырого дерева, а особенно часто на складах древесных материалов, за что гриб относят к группе так называемых складских, или биржевых, грибов.

Из описанных выше домовых грибов к самым сильным разрушителям древесины относятся: настоящий домовый, белый домовый, пластинчатый домовый и пленчатый домовый. Скорость разрушения древесины домовыми грибами представлена в таблице 7.5.

**Таблица 7.5 – Скорость разрушения древесины различными видами домовых грибов**

Вид домового гриба	Потери массы древесины, за 4 месяца, %					
	Сосна		Ель		Береза	Осина
	Заболонь	Ядро	Заболонь	Спелая		
Настоящий домовый	37	-	-	-	44	37
Пластинчатый домовый	37	-	32	32	29	33
Пленчатый домовый	33	-	-	-	30	31
Белый домовый	20,3	-	25	-	19,5	-

Отличительные признаки наиболее агрессивных домовых грибов и вызываемые ими поражения древесины представлены в таблице 7.6.

**Определение деревообразующих грибов.** Здоровую древесину от пораженной грибами можно легко отличить лишь на последней стадии гниения.

При разложении постепенно уменьшается вес древесины, изменяется ее анатомическое строение, физико-механические свойства. Однако на первой стадии гниения эти изменения мало заметны.

Одним из первых признаков разложения древесины является изменение ее цвета. Целлюлозоразрушающие грибы в большинстве случаев вызывают сначала пожелтение древесины, лигниноразрушающие – слабое изменение окраски. В сомнительных случаях желательно сравнивать здоровую и проверяемую древесину при освещении ультрафиолетовыми лучами. При этом разница в окраске выражена наиболее резко.

Таблица 7.6 – Отличительные признаки наиболее агрессивных домовых грибов – разрушителей древесины

Вид гриба	Признаки гриба			Оптимальная влажность древесины, %	Места поражения	Внешний вид древесины при разрушении
	плодовое тело	грибница	шнурь-тяжи			
Настоящий домовый грибок (Serpula lacinians)	Широко распростертое, мясистое, разных размеров. Середина охристая желтая или коричневая, сетчатая, часто выделяющая капли воды, край толстый, войлочный, белый	Сначала белая, пушистая в виде ватообразных скоплений с розовато-кремовыми или ярко желтыми пятнами. Со временем подсыхает и превращается в серо-пепельные пленки, легко отслаивается от разрушенной древесины. Нижняя сторона пленок шелковистая, серебристого оттенка	Плоские или выгнутые, овального сечения, диаметром до 8 мм. В начале гибкие, при подсыхании становятся ломкими	25–30	В стенах, полах, перегородках, реже в чердачных конструкциях	Вначале желтоватая, потом бурует, при высыхании образуются глубокие трещины, распадаясь на отдельные крупные четырехугольные призмы
Белый домовый грибок (Fibropora vaillantii)	Распростертое, в виде плоской пористой подушечки трубчатого строения, цвет беловатый, в старости имеет кремовый оттенок	Мощная ватообразная, белая, цветных пятен нет. При уплотнении принимает вид пленок белого цвета, изредка с кремовым оттенком	Пушистые, большей частью круглые, белые, маловетрающиеся, гибкие в свежем и сухом состоянии	40–60	В погребах, сырых зданиях, чердачных конструкциях. Иногда в бревенчатых стенах	Такой же, как у настоящего домового гриба
Пленчатый домовый (Сорбодора) (Sorophora piteana)	Распростертое, мягкое, кожистое, легко отделяющееся от древесины, цвет белый, затем становится темно-коричневым с беловатым краем. На повер-хности бугорки, извилины	Развито слабо, образует тонкие, нежные налеты, вначале почти белого или желтоватого цвета, позднее коричневатого. На уплотненной пленке образуется плодовое тело	Тонкие, ветвистые, коричневые, затем почти черные	35–45	В погребах, подпольях, санузлах, на чердаках	Цвет темнее, чем у предыдущих, трещины более мелкие
Пластинчатый шахтный грибок (Рахилис) (Raxillus rapalloides)	Мясистая круглая или веерообразная шляпка охристо-желтого цвета с загнутыми краями и боковой ножкой или без неё. Пластинки волнистые	Два заметные веерообразные нити зеленовато-желтого цвета, исходящие из одной точки. При отмирании становятся темными, почти черными, пышные ватообразные скопления отсутствуют	Тонкие, ветвистые, зеленовато-желтым оттенком, у основания иногда с фиолетовым	60–80 при относительной влажности воздуха 100 %	В жилых домах, на складах, шахтах, сырых и темных местах	Вначале окрашена в желтовато-зеленый цвет, который потом переходит в бурые. Трещины и призмы мелкие

### 7.7.2 Дереворазрушающие насекомые

Кроме грибов значительный вред деревянным конструкциям приносят дереворазрушающие насекомые. Разрушая древесину, они образуют на ее поверхности отверстия круглой и овальной формы от 1 до 9 мм.

Для насекомых древесина является пищей, домом и местом размножения. Из четырех стадий развития – яйцо, личинка, куколка и натуральное насекомое – собственно пожирателями древесины являются личинки, в то время как разрушения, производимые самими насекомыми, незначительны. Они заключаются в том, что насекомые, выбираясь из древесины, просверливают в ней отверстие – леток.

Для развития древоточцев в древесине конструктивных элементов необходимы определенные условия:

- древесина, не содержащая химических веществ, вредных для насекомых (насекомые не нападают на древесину с большим содержанием смол, эфирных масел, камфоры и др.);

- наличие в древесине яиц, личинок, куколок или взрослых форм насекомого;

- воздух, необходимый для дыхания насекомого;

- температура среды (окружающего воздуха) в довольно широком диапазоне от  $-17$  до  $+49$  °С. Оптимальные температурные условия, обуславливающие нормальную активность древоточца,  $20-30$  °С;

- влажность древесины – от 6 до 70 % (абс.). Оптимальный диапазон влажности –  $25-40$  % (абс.) в зависимости от вида насекомого.

Предположительно можно считать еще одним условием – наличие в древесине грибковых образований (гифов или мицелия) в активной, пассивной или отмершей стадии. Подтверждением этого являются наблюдения исследователей, показывающие, что древоточцы (насекомые) поражают предварительно загнившую древесину или же древесину, которая находится в условиях, способствующих и обуславливающих развитие грибковых процессов. Так, например, обычны случаи поражения древоточцами нижних венцов деревянных стен, не изолированных от грунтовой влаги и уже затронутых деструктивной гнилью. Нередки разрушения насекомыми концов деревянных балок, заделанных в каменные стены и находящихся в условиях температурно-влажностного режима, которые благоприятно влияют на развитие домового гриба; часто объектом комбинированного разрушения (грибы + насекомые) являются влажные деревянные перекрытия санитарных узлов и ванных комнат.

**Древоточцы.** Древоточцы, разрушающие деревянные конструкции сооружения, принадлежат к двум типам животных: членистоногим (*Arthropoda*) и мягкотелым (*Mollusca*). При этом древоточцы, поражающие деревянные элементы сооружений на суше (т. е. надземных строительных объектов), относятся к классу насекомых (*Insecta*) типа

членистоногих (*Arthropoda*). Среди древоточцев, принадлежащих к классу насекомых, территориально наиболее распространен и причиняет наибольший вред деревянным конструкциям отряд жуков, в состав которого входит много семейств с многочисленными родами и видами.

**Семейство точильщиков (*Anobiidae*).** Мебельный точильщик – *Anobium striatum* O1. Syn. *Anobium domesticum* Geoff e (рисунок 7.7). Жук длиной 3–4 мм; тело выпуклое, цилиндрическое, темно-бурого цвета, густо покрыто очень короткими тонкими желтоватыми волосками; переднеспинка вполне покрывает голову, которая сверху благодаря этому не видна; надкрылья сзади круто загибаются книзу и тупо закругляются; усики и ноги красновато-бурые. Яйца жука длиной 0,4–0,5 мм короткоовальной формы, белые с желтоватым оттенком, полупрозрачные. Каждая самка откладывает до 40 яиц (по 5–10 яиц в отдельные щели или неровности деревянных элементов, а иногда и в старые летные отверстия). Стадия яйца, т. е. развитие яйца до превращения его в личинку, продолжается около двух недель. Вылупившаяся личинка вгрызается в древесину, образуя в ней мелкие каналцы – личиночные ходы.

Личиночные ходы заполнены так называемой буровой мукой, т. е. мелкими частицами древесины, которые выгрызаются личинкой и служат ей пищей. Летные отверстия, прогрызаемые жуками в наружном (поверхностном) слое древесины, имеют круглую форму диаметром 1–2 мм.



Рисунок 7.7 – Мебельный точильщик – *Anobium striatum* O1. Syn. *Anobium domesticum* Geoff r

Оптимальными условиями для развития мебельного точильщика являются температура воздуха 22 °С и абсолютная влажность древесины 30 % (иногда он поражает и более влажную древесину). Он разрушает как хвойные, так и лиственные породы деревьев (сосну, ель, дуб, клен и др.). Мебельный

точильщик является самым распространенным древоточцем и самым вредным из всех жуков, поражающих деревянные конструкции строительных объектов.

**Домовый точильщик – *Anobium pertinax* L. Syn. *Coelostethus pertinax* L** (рисунок 7.8).

Жук длиной 4,5–5 мм, темно-бурого цвета; на спинке в задних углах два золотисто-желтых пятна, образованных шелковистыми волосками; спинка имеет наибольшую ширину у основания надкрылий и, постепенно

суживаясь, уменьшается вдвое у головы. Личинка длиной 4,5–5 мм, белая, с тремя парами коротких ног, похожа на личинку мебельного точильщика, но отличается от последней более крупной величиной. Яйца белые с желтоватым оттенком, полупрозрачные, размером 0,5–0,6 мм; в отличие от мебельного точильщика этот жук откладывает яйца на освещенных солнцем местах деревянных конструкций. Диаметр ходов и летных отверстий – 2,5–3 мм. Оптимальные условия развития примерно те же, что и для мебельного точильщика, однако домовый точильщик предпочитает сухую древесину, периодически увлажняющуюся. Домовый точильщик обладает сбитой генерацией: вылет жуков происходит в течение всего года. Жук поражает преимущественно хвойные породы деревьев (сосну, ель, пихту и др.).



Рисунок 7.8 – Домовый точильщик – *Anobium pertinax* L.Syn.  
*Coelostethus pertinax* L

**Пестрый точильщик** (*Xestobium rufovillosum* Degeer. syn. *Anobium tessellatum*) – самый крупный жук, длина его 6–8 мм (рисунок 7.9).

Тело его темно-коричневое, надкрылья покрыты желтовато-красноватыми волосиками, которые образуют характерные пятнышки. Усики у него нитевидные, короткие.

Личинки длиной до 10 мм покрыты золотистыми волосиками (рисунок 7.10). Ходы личинок круглые и в основном забиты экскрементами.





Рисунок 7.9 – Пестрый точильщик (*Xestobium rufovillosum* Degeer. syn. *Anobium tessellatum*)

Рисунок 7.10 – Личинка пестрого точильщика (*Xestobium rufovillosum* Degeer. syn. *Anobium tessellatum*)

Обычно жук нападает на лиственную древесину, реже – на хвойную, предпочитает пораженную грибами древесину. Вылетное время – май-июнь. Цикл генерации – 2–3 года.

**Семейство усачей, или дровосеков (*Cerambycidae*).**

Представители этого семейства являются наряду с точильщиками сильнейшими разрушителями деревянных конструкций.

*Домовой жук-дровосек (*Hylotrupes bajulus*)* – наиболее широко распространенный вредитель сооружений, поражающий почти исключительно сухую хвойную древесину в конструкциях кровель и перекрытий верхних этажей. Цвет его темно-коричневый, шейный щиток покрыт беловатыми волосками и двумя темными бугорками (рисунок 7.11).

Длина самок составляет от 10 до 25 мм, самцов – от 8 до 16 мм. Длина личинки цвета слоновой кости достигает 30 мм (рисунок 7.12).



Рисунок 7.11– Домовой жук-дровосек (*Hylotrupes bajulus*)



Рисунок 7.12 – Личинка домового жука-дровосека (*Hylotrupes bajulus*)

Продолжительность жизни одного поколения – примерно 3–5 лет. Время жизни летающих насекомых – 2–4 недели.

Летное время приходится на июнь – август. Оптимальная температура существования – около 28 °С, оптимальная влажность древесины – около 30 %, минимальная – 10 %. Личинки прогрызают всю заболонь, устраивая ходы для себя, и полностью разрушают деревянные конструкции. На стенках овальных ходов видны волнообразные следы древесной муки, а сами ходы наполнены смесью древесной муки и экскрементов. Размер овального отверстия (летка) достигает 4–7 мм, оно находится под крышей. На открытых гранях

древесины кромки летков гладкие. Так как мука перемолотой древесины не выбрасывается наружу, то поражение древесины домашним жуком-дровосеком обнаружить нелегко. Отрывая верхние слои древесины, можно увидеть ходы, находящиеся под неповрежденной оболочкой.

Семейство усачей отличается размерами усиков, которые иногда бывают в несколько раз длиннее тела, а в некоторых случаях – меньше половины тела.

*Серый домовый усач – Hylotrupes bajulus L. Syn. Callidiutn bajulum L.* Жук длиной 7–21 мм характеризуется наличием двух блестящих мозолей на переднеспинке и волосяными пятнами надкрылий; голова – в довольно крупной неправильной и неравномерной более или менее густой пунктировке (рисунок 7.13). Тело жука – от светло-бурого до черного цвета, покрыто тонкими беловатыми или сероватыми стоячими волосками. Личинка – длиной 20–22 мм, шириной 6–8 мм, бледно-желтовато-белая, с буроватой головой и длинными волосками; голова – большая с ямками и точками на переднем крае капсулы; верхние челюсти – черные, блестящие, с округленной вершиной; ноги – короткие.



Рисунок 7.13 – Серый домовый усач – *Hylotrupes bajulus L. Syn. Callidiutn bajulum L*

Личинка развивается главным образом в древесине хвойных пород, заселяя обычно деревянные части построек и столбы, реже – мебель. Личинка выгрызает в древесине неправильные ходы, набитые нежной буровой мукой, при этом остается нетронутым лишь тонкий поверхностный слой. Личинка продвигается в ходе с большой скоростью, выгрызая древесину за 1 ч на длину, равную длине тела. Летные отверстия – круглые или овальные, диаметром 5–10 мм.



Рисунок 7.14 – Одноцветный домовый усач – *Stromatium unicolor* 01. Syn. *Stromatium fulvum* Vill

Поселившись в какой-либо постройке, жук продолжает в ней откладывать яйца год за годом, вызывая сильнейшие разрушения древесины.

*Одноцветный домовый усач* – *Stromatium unicolor* 01. Syn. *Stromatium fulvum* Vill (рисунок 7.14). Жук длиной 16–32 мм; голова небольшая, со сравнительно короткими челюстями,

между усиками широкая борозда, усики длинные и тонкие, у самца – гораздо длиннее тела (приблизительно в 1,5 раза), у самок обычно заходят за вершину надкрылий одним-двумя последними члениками или равны длине тела; передспинка в очень густой мелкозернистой пунктировке.

Волосной покров тела – нежный желтый или бледно-желтый, негустой: все тело усажено волосками, на надкрыльях доходящими до их вершины. Тело – матовое от бледно- до буровато-желтого, глаза – черные. Личинка длиной 25–31 мм, шириной 6–8 мм, белая или чуть желтоватая. Личинка заселяет мертвые и полумертвые деревья самых разнообразных пород: дуб, бук, вяз, липу, граб, каштан, плодовые деревья, иву, ольху, пихту, платан и др. Помимо деревьев, жук поражает лесоматериалы, особенно деревянные части построек, и мебель. Личинка грызет ходы, направляя их вдоль волокон древесины, и поворачивает назад, если ход дойдет до торца. Лёт начинается в мае и заканчивается в августе (массовый лёт обычно в июле). Жуки летают поздно вечером и ночью (летят на огонь). Летные отверстия – овальные 3×6–5×12 мм.

*Усач Фальдермана – Chlorophorus Faldermanni Fald.* Жук длиной 8–16 мм, голова в мелкой густой и морщинистой пунктировке; нижняя сторона тела в мелкой пунктировке.

Тело – бурое, темно-бурое, коричневое, изредка черное, густо покрыто лежачими волосками желтовато-сероватого, беловато-серого или



Рисунок 7.15 – Усач Фальдермана – *Chlorophorus Faldermanni Fald.*

желтовато-белого, по большей части бледного цвета. Ноги и усики окрашены несколько светлее туловища, более красноватые или желтоватые (рисунок 7.15). Личинка достигает в длину 18 мм, желтовато-белая, в коротких желтоватых волосках, передний край головной капсулы слегка вырезан, ржавого цвета, верхние

челюсти – черные. Жуки заселяют только мертвую древесину: доски, балки и любые деревянные части построек, а в лесу – мертвые деревья только в том случае, если они сухие, а кора настолько растрескалась или отстала, что жук может отложить яйца непосредственно на древесину. Личинки выгрызают в древесине длинные ходы, идущие вдоль волокон. При заселении короткого обрубка или куска личинка, дойдя до конца его, поворачивает обратно и выгрызает ход, параллельный первому и нередко отделенный от него очень тонкой стенкой. Длина хода может достигать 1,5–2 м. Взрослая личинка подводит ход к поверхности древесины, оставляя нетронутым лишь тончайший слой, после этого отступает несколько вглубь и окукливается. Отверстие круглое в поперечнике 2,5–3 мм. Генерация – годовая. Жуки летают с мая до начала сентября.

**Семейство долгоносиков, или слоников (*Curculionidae*).**

*Долгоносик-трухляк – Codiosoma spadix Hbst.* Жук длиной 3–3,5 мм, темно-коричневого цвета; голова в виде хоботка.

Усики и ножки – красноватые; голени ножек на концах имеют шипики (крючки), переднеспинка уже, чем ширина надкрылий (рисунок 7.16).

Личинка молочно-белая, слегка изогнутая, безногая, длиной 2,5–3 мм. Яйца – мутно-белые, длиной 0,3–0,4 мм. Долгоносик-трухляк поражает только хвойную древесину (сосну, ель и др.).

Оптимальными условиями развития являются абсолютная влажность древесины 20–35 % и температура воздуха 10–25 °С.

Разрушенная древесина превращается в труху, в которой иногда трудно

найти отдельные личиночные ходы, характерные для всех прочих жуков. Особенно часто долгоносиком-трухляком поражаются деревянные элементы кухонь, прачечных, ванны и других мест.



Рисунок 7.16 – Долгоносик-трухляк – *Codosoma spadix* Hbst

### **Отряд термитов, или белых муравьев, – *Isoptera*.**

Отличия, характерные для этого отряда:

1) две пары пленчатых крыльев; они существуют только временно у самок и самцов до начала образования колонии – общины. Вообще все термиты, составляющие общину, бескрылые;

2) неполный метаморфоз (отсутствует стадия куколки);

3) высокоорганизованная организация общины (самка, самец, рабочие, солдаты и др.), число членов которой колеблется от нескольких сот до сотен тысяч и даже нескольких миллионов.

Встречаются следующие виды термитов (рисунки 7.17–7.19):

– Анжеровский – *Anacanthotermes ahngerianus* Jac. Syn. *Hodotermes ahngerianus* Jac;

– Европейский – *Leucotermes lucifugus* Rossi;

– Средиземноморский – *Calotermes flavicollis* F;

– Туркестанский – *Anacanthotermes turkestanicus* Jac. Syn. *Hodotermes turkestanicus* Jac;

– Закаспийский – *Hodotermes vagans septentrionalis* Jac.

Термиты устраивают себе подземные или наземные гнезда (термитники), достигающие огромных размеров в тропических странах и образующие целые «города». Нападению термитов подвергается прежде всего деловая (обработанная) древесина: деревянные конструкции сооружений (бревна, балки, доски, столбы, лаги и т. д.), мебель, тара и т. п. Подвергшиеся нападению термитов деревянные элементы полностью



выедаются изнутри, при этом нетронутыми остаются только тоненькие наружные оболочки.



Рисунок 7.17 – Термиты



Рисунок 7.18 – Солдат термита  
*Coptotermes formosanus*



Рисунок 7.19 – Рабочие термиты,  
поедающие древесину

**Рогохвосты.** *Рогохвосты (древесные осы)* – перепончатокрылые крупные насекомые длиной от 30 до 45 мм. У самок в конце брюшка есть острый роговидный вырост (рогохвост). Нападают они на растущие ослабленные или отмирающие деревья, а также на свежесрубленный лесоматериал. Рогохвосты – сильные физиологические и технические вредители древесины. В конструкциях здания заселенная рогохвостами древесина подвергается сильному разрушению. Вылетающие из древесины взрослые насекомые покидают здание, улетают в поисках свежей древесины.

Существует несколько разновидностей рогохвостов, из которых *обыкновенный рогохвост (Sirex noctilio)* нападает на сосну, *черный (Sirex spectrum)* – на ель, *желтый (Sirex gigas)* – на сосну и лиственницу, *синий (Paururus juvenicus)* – на ель.

Заселенную рогохвостами древесину запрещено применять в капитальном строительстве.

*Желтый еловый рогохвост (Sirex gigas)* – насекомое длиной до 40 мм, на голове около глаз у него есть желтоватые пятна, брюшко черноватое с желтыми полосками. У самок в конце брюшка острый роговидный вырост – рогохвост и четыре перепончатых крыла (рисунок 7.20).

При откладывании яиц самка своим рогохвостом проделывает в коре или заболони древесины отверстия, в которые откладывает яйца (поодиночке). Каждая самка откладывает более 150 яиц.



Рисунок 7.20 – Желтый еловый рогохвост (*Sirex gigas*)

Длина личинки – около 20 мм. Сама личинка белая с темной головкой.

Время вылета – от мая до сентября. Летные отверстия круглые, диаметром 5–7 мм. Цикл генерации 2–4 года. Желтый рохвост нападает на хвойные растущие деревья или на свежесрубленный лесоматериал.

## 7.8 Биокоррозия и человек

### 7.8.1 Виды влияния биоповреждений зданий на человека

При недостаточной гидроизоляции или ее полном отсутствии почвенные воды по капиллярным системам строительных материалов поднимаются из фундамента в стены зданий. Они несут с собой соли и сложные органические вещества, служащие питательной средой для почвенных микробов, которые тоже поднимаются до первых этажей зданий и там образуют колонии в толще стен и на их поверхности. Продукты жизнедеятельности микробов изменяют среду в материалах, приводя к изменению их прочностные характеристики. Таким образом, в современном жилище могут концентрироваться непосредственно

почвенные микроорганизмы (грибы, бактерии, водоросли) и микробы городской пыли. Следовательно, жилище, вместо защиты жителя города, может стать аккумулятором возбудителей инфекционных заболеваний, а значит, и причиной их возникновения.

Существует несколько видов травматизма и заболеваний человека, связанных с биоповреждением зданий.

1 Здания и другие сооружения, подвергшиеся биоповреждению, могут оказывать неблагоприятное прямое влияние на здоровье человека при частичном или полном разрушении. Это механические травмы в результате обвалов, провалов, падений с высоты отдельных конструкций зданий.

В отношении возможности разрушения наиболее уязвимы консольные части строительных конструкций: козырьки, навесы, балконы, которые при отрыве от здания у своего основания могут обрушиваться на отдельных людей и целые группы. Широко известны факты отрыва элементов облицовочного материала от стен зданий и падение их на прохожих. Внутри зданий в первую очередь разрушаются лестницы, а также горизонтальные переходы при биоповреждениях их несущих частей. В помещениях верхних этажей в результате протечек через неисправную кровлю создаются термостатные условия в штукатурке стен и потолков и отрыв ее элементов в результате повреждающего действия развивающихся в ней микроорганизмов. Во всех перечисленных случаях вероятная для человека опасность – получение травм в виде ушибов, сдавливания тканей, переломов, более или менее тяжелых в зависимости от масштабов разрушения.

2 Вторая группа влияний объединяется сочетанием сырости в помещениях с периодическим или постоянным охлаждением организма человека. Это приводит к нарушению иммунитета и, таким образом, способствует возникновению заболеваний, вызываемых условно патогенными возбудителями, в том числе микозов, а также туберкулеза, ревматизма, хронических неспецифических заболеваний органов дыхания, воспалительных заболеваний суставов. Естественно, такое влияние особенно нежелательно для детей, стариков и лиц, страдающих хроническими заболеваниями, сопровождающимися снижением иммунитета.

3 Третья форма неблагоприятного влияния биоповреждений на людей заключается в свойствах самих микроорганизмов – не просто воздействовать, а взаимодействовать с организмом человека. В частности, грибы, развивающиеся в толще и на поверхности строительных материалов, не являясь по своей природе болезнетворными, могут в организме человека приобретать паразитарные свойства и вызывать инфекционные поражения – микозы, а у людей, склонных к аллергическим реакциям, – микогенные аллергии в виде астматического бронхита, бронхиальной астмы, крапивницы и др.



Если два первых вида влияния на человека биоповреждений хорошо изучены и известны врачам, то третья форма – собственно грибковое воздействие – еще мало известна и врачам, и администраторам, и строителям, и всем остальным горожанам. Вместе с тем, именно грибковые болезни занимают все большее место в структуре заболеваемости людей, обусловленной влиянием биоповреждений зданий.

Поскольку увлажнение построек может происходить снизу – из почвы и сверху – из-за неисправной кровли, наиболее уязвимыми для микозов и микогенной аллергии являются жители первых и последних этажей зданий. Но и на других этажах зданий с признаками увлажнения их конструкций повышается вероятность развития микозов у жителей, особенно в случаях неисправности водопроводных, отопительных и канализационных коммуникаций. От проникновения спор грибов в жилища и другие помещения не спасают даже современные способы жизнеобеспечения, такие как вентиляция и кондиционирование воздуха. Более того, в вентиляционных системах и влагосорбниках кондиционеров тоже образуются колонии плесневых грибов, с поверхности которых по описанному выше механизму прямо в места обитания или работы человека направляется воздух, содержащий споры грибов. Заболевания, возникающие по этому пути передачи возбудителя, так и называются “болезнями пользователей кондиционерами”.

#### **7.8.2 Микроскопические грибы – возбудители микозов и микогенной аллергии**

С точки зрения способности вызывать заболевания (патогенность, болезнетворность) все микроскопические грибы могут быть разделены на патогенные и непатогенные. Из первых наибольшее значение имеют *Histoplasma capsulatum*, распространенная на обоих американских континентах и в Северной Африке и вызывающая гистоплазмоз, и *Coccidioides immitis*, распространенный в некоторых районах США, вызывает кокцидиоидоз.

В России и странах СНГ известно несколько видов патогенных грибов, вызывающих заболевания кожи (дерматомицеты). Именно кожные грибковые болезни до середины XX века были известными широкому кругу врачей и населения. В прошлом был широко распространен фавус (парша), в прошлом и теперь широко известны заболевания кожи и ногтей стоп и кистей. Их возбудители, в частности, разные виды рода *Trichophyton*, передаются от больного к здоровому человеку при непосредственном контакте или с предметами общего пользования (обувь, коврики в банях, спортивных залах и пр.). Большое эпидемиологическое значение до сих пор имеют возбудители микозов кожи и ее придатков у человека, получаемые им от домашних животных,

в частности, возбудители микроспории. Считается, что до 20 % бесхозных кошек являются носителями возбудителя микроспории.

Все перечисленные дерматомицеты вызывают длительно протекающие и трудно поддающиеся лечению дерматомикозы. Но они никогда не приводят к поражению внутренних органов и, следовательно, не представляют опасности для жизни.

На территории Беларуси нет грибов, первично вызывающих заболевания внутренних органов у человека. И в то же время грибковые болезни внутренних и половых органов, нервной системы не только существуют, но могут представлять не просто серьезную, а даже смертельную опасность для человека. Причиной грибковых болезней внутренних органов в средней полосе являются грибы-сапрофиты («сапрос» по-гречески – «гниль»), широко распространенные в природе. Они названы условно патогенными, потому что для возникновения и развития глубокого грибкового заболевания у человека должны сформироваться некоторые условия. Только две причины могут создать условия, при которых в принципе не опасные для человека грибы вызывают у него заболевания. Одна из этих причин – снижение защитных свойств органов и тканей человека, иммунодефицит, другая – свойства самих грибов, так называемые факторы агрессии – это способность некоторых компонентов грибковой клетки растворять органические структуры, в том числе и живые ткани, приводя к их разрушению. В природе это свойство грибов реализуется на мертвом субстрате. В организме человека в условиях иммунодефицита в качестве питательной среды могут использоваться живые ткани. Это означает паразитирование грибов в живом организме. Это особенно часто случается при повторном или постоянном массивном поступлении клеток грибов в организм. В естественных условиях организм человека успевает освободиться от клеток грибов по мере их поступления в полости, соединяющиеся с внешней средой, в частности, в органы пищеварения и дыхания. Повышенное поступление спор грибов в организм возможно при нарушенной экосистеме, когда создаются условия для «надпорогового» скопления колониеобразующих единиц (КОЕ) в единице объема воздуха. По-видимому, при этом количество КОЕ превышает эволюционно сложившиеся возможности очищения организма от них.

Грибы для человека генетически чужеродны, поэтому при попадании их на поверхность или в глубину тканей организм человека стремится освободиться от них. Основная роль в этом процессе принадлежит иммунной системе. Именно она распознает генетически чужеродные структуры – клетки грибов, связывает их и способствует выведению из организма. У некоторых людей развивается чрезмерно сильный ответ на внедрение в организм грибов. При этом развиваются аллергические реакции или даже заболевания. Таков механизм развития микогенной аллергии.

В прошлом микозы внутренних, половых органов и нервной системы, вызываемые условно патогенными грибами, практически не встречались.

Были только отдельные наблюдения глубоких микозов, описанные в прошлом веке и в первой половине уходящего века. Но даже в этих наблюдениях грибы рассматривались лишь как вероятная причина заболевания.

Положение изменилось с пятидесятих годов XX века. Именно в эти годы в медицинскую практику были внедрены антибактериальные антибиотики, в частности пенициллин, а затем сильнодействующие препараты гормонального ряда и противораковые средства. Антибиотики, подавляя рост бактерий в организме, освобождают место для грибов, на которые они не действуют, и, таким образом, создают для них микробиологическую нишу. Более того, сами антибиотики могут явиться питательной средой для грибов. Кроме того, препараты всех перечисленных групп подавляют иммунитет. Несмотря на то, что и антибиотики, и другие приведенные препараты, играют очень большую роль в борьбе с самыми различными, в том числе тяжелыми, заболеваниями, своими побочными влияниями они способствуют росту микотически обусловленной заболеваемости. К сожалению, не только лекарства, но и некоторые инвазивные (с нарушением целостности кожных и слизистых покровов) методы исследования и лечения, например, зондирование сердца и крупных сосудов, самые различные пункции, операции, могут способствовать заносу клеток грибов в глубокие ткани и органы. Это позволило отнести микозы к категории болезней прогресса медицины.

Из других факторов, снижающих иммунитет человека, следует упомянуть радиационный фон земли, несколько раз повышавшийся за вторую половину века, а также токсические воздействия выбросов промышленности и автотранспорта. Более того, не только техногенные катастрофы, но и повседневная хозяйственная деятельность человека приводит к загрязнению окружающей среды, нарушающему функции защиты организма от инфекции. Это явилось основанием для отнесения микозов к категории болезней прогресса цивилизации.

В результате в настоящее время сложились условия для формирования многочисленных групп риска развития микозов. Действительно, сейчас трудно найти человека, в течение жизни не применявшего антибиотиков. Практически все жители земли – и сельские, и городские – повседневно подвергаются воздействию атмосферы, содержащей не только необходимый для жизни кислород, но и ядовитые вещества, подавляющие иммунитет. Поэтому, хотя человечеству удалось справиться с такими массовыми инфекционными заболеваниями, как чума, натуральная оспа, холера, в прошлом уносившими миллионы жизней, перед наступлением инфекций, вызываемых условно патогенными возбудителями, человек пока оказывается бессильным, потому что он сам создает условия для их возникновения. По мере развития микологии выявляются все новые условия, способствующие заболеванию микозом или микогенной

аллергией. Одним из частных случаев таких условий является сырое жилище или рабочее помещение, а люди, живущие или работающие в таких условиях, составляют группу риска развития микозов и микогенной аллергии, потому что именно у них сочетается снижение иммунитета, вызванное техногенными и медицинскими факторами, и повседневный контакт с грибами-возбудителями болезней. Следует иметь в виду, что современный человек большую часть своей жизни проводит в помещении – дома или на работе. И в том, и в другом случае, если это помещение оказывает неблагоприятное влияние на организм, оно продолжается по несколько часов каждые сутки жизни в течение многих лет. Поэтому проблема микозов, зависящих от состояния жилища или рабочего помещения, должна быть достоянием не только врачей, но и строителей, и администраторов, и всех жителей городов, первыми встречающихся с биоповреждениями зданий.

Считается, что из сотен тысяч видов микроскопических грибов только около ста видов могут вызывать заболевания у человека. На территории Беларуси имеют значение две разновидности грибов – дрожжеподобные и плесневые. Все они являются почвенными и именно из нее попадают в здания. В толще материалов и на их поверхности плесневые грибы образуют гигантские колонии, в которых они живут, размножаются и умирают. На поверхности колоний споры грибов очень слабо укреплены на выростах грибницы. Достаточно малейшего движения воздуха, чтобы спора отделилась от своего основания и понеслась на неопределенно далекое расстояние, увлекаемая потоком воздуха. Так, восходящими воздушными потоками споры грибов поднимаются из подвалов и с первых этажей практически на все остальные этажи здания. В местах горизонтальных перекрытий ламинарные потоки воздуха превращаются в турбулентные. В завихрениях происходит снижение скорости движения воздуха, и взвешенные в нем частицы, в том числе и споры грибов, теряют скорость и оседают на плоские поверхности: лестничные площадки, карнизы, подоконники и пр. Горизонтальные потоки воздуха, а также сами жители домов переносят пыль вместе со спорами грибов – компонентами этой пыли – непосредственно в жилища.

Все сказанное относится преимущественно к плесневым грибам, из которых практическое значение для здоровья человека имеют грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Alternaria* и некоторые другие. По названиям грибов-возбудителей определяются и наименования болезней: аспергиллёз, пенициллёз и т. д.

Из дрожжеподобных грибов чаще других вызывают заболевания у человека грибы рода *Candida*. Они настолько широко распространены в природе, что сам человек в норме очень часто бывает их носителем. Но в условиях иммунодефицита они проявляют агрессивные свойства и могут вызывать поражения (кандидоз) практически всех органов и тканей. Возможность возникновения микоза увеличивается с углублением иммунодефицита. Поэтому при не нарушенном иммунитете носительство

грибковых клеток в организме может продолжаться неопределенно долгое время, а на фоне иммунодефицита возможен не только микоз, обусловленный одним возбудителем, но и смешанные грибковые поражения, в частности микозы, вызываемые одновременно и плесневыми, и дрожжеподобными грибами, а в некоторых случаях – одновременно грибами и бактериями.

В современных городах сложились условия, вызывающие трансформацию естественного микробиоценоза (совокупности микроорганизмов) среды. Виновником этого является само население городов.

Органический мусор – остатки пищи, прошлогодняя полусгнившая листва зеленых насаждений, пролитые из неисправных двигателей автомобилей масла – все это смешивается с оголенной почвой, освобождающейся каждый год из-под некачественно положенного на землю асфальта, и становится питательной средой для плесневых грибов. Городская пыль – это самый сложный, еще мало изученный конгломерат органических и неорганических продуктов, несущий с собой рукотворные токсические вещества и миллиарды клеток патогенных и условно патогенных микробов. Среди них плесневые грибы с каждым годом занимают все большее место. Это доказано целым рядом исследований в России и за ее пределами, а также подтверждается и тем, что количество только болезнетворных плесневых микозов каждый год увеличивается на 5–7 %, а общее количество микозов, как свидетельствуют данные ряда стран Европы и Азии, каждые 10 лет удваивается. Споры плесневых грибов величиной менее 5 микрон могут проникать через самые узкие бронхи глубоко в легкие. Находясь в воздухе в составе так называемой “витающей”, неседиментирующей, пыли, они всегда являются частью аэрозоля, которым дышит городской человек.

### **7.8.3 Группы микотических болезней**

Все микотические болезни подразделяются на две принципиально разные группы: группу микозов и группу микогенных аллергий.

Условно патогенные плесневые грибы могут поражать практически все ткани человека, но в условиях жилища чаще всего поражаются легкие. На фоне иммунодефицита, в частности, у больных злокачественными заболеваниями, которым проводится полихимиотерапия, могут возникать острые поражения легких, заканчивающиеся гибелью больных. Это может произойти в больнице с неисправной вентиляцией или поражением плесневыми грибами стен и межэтажных перекрытий. Если в палатах сосредотачиваются больные с иммунодефицитами, то именно они заболевают в первую очередь. В

Петербурге уже была массовая вспышка острого аспергиллёза легких в одной из больниц с неисправной вентиляцией, в ходе которой погибло несколько больных еще до постановки диагноза. Гибель следующих больных удалось предотвратить, лишь разобравшись в причинах их заболевания. Это была наиболее тяжелая форма аспергиллёза легких – аспергиллёзная пневмония с распадом тканей легких и необратимыми нарушениями функции внешнего дыхания. Аспергиллёзная пневмония не в виде вспышки, а у отдельных больных, постоянно регистрируется в больницах города. К сожалению, диагноз у многих таких больных ставится посмертно по причинам отсутствия специалистов и трудностей диагностики.

Из хронических форм аспергиллёза следует упомянуть аспергиллёму – полостную форму микоза. При ней в полостях легких самого различного происхождения (туберкулезная каверна, полость после вскрывшегося абсцесса, врожденная киста легкого, бронхоэктазы) образуется шаровидная колония величиной в несколько сантиметров, вызывающая боли, кровохарканье, иногда повышение температуры тела. При такой форме добиться излечения можно только хирургическим удалением части легкого вместе с грибковым шаром. Правда, бывают и самостоятельные благоприятные исходы – самоизлечение, но только в виде исключения. Аспергиллёма развивается длительное время, она служит постоянным потенциальным источником легочного кровотечения, периодически вызывает воспаление окружающей легочной ткани, а у некоторых больных способствует их злокачественному перерождению.

Особо следует остановиться на хронических диссеминированных формах микоза, при которых происходит множественное поражение легких в результате длительного повседневного вдыхания спор плесневых грибов. Эта форма может рассматриваться как профессиональная у лиц, занимающихся уборкой мусора. В западных странах она так и называется “болезнь мусорщиков”. Ею заболевают дворники и водители автомобилей-мусоровозов, пренебрегающие рекомендациями, направленными на профилактику заболевания. Самый простой метод профилактики – применение респираторов разных конструкций, в том числе и самых простых – марлевых масок. Кроме того, рекомендуется мусор убирать не в сухом виде, как это часто наблюдается на улицах города, а после его предварительного увлажнения.

Местные аспергиллёзные заболевания органов слуха, зрения, полости рта, придаточных пазух носа могут причинить много неприятностей сами по себе, а также явиться источником “расселения” микроорганизмов по другим тканям и органам, приводя к развитию диссеминированных и генерализованных форм микозов.

Другие виды плесневых грибов вызывают инфекционные микозы значительно реже. Но если они встречаются, то представляют

существенные трудности для диагностики по причине неподготовленности проведения лабораторных микологических исследований в большинстве лечебных учреждений.

Дрожжеподобные грибы рода *Candida* тоже поражают легкие, но у большинства больных они не вызывают глубоких повреждений. Они осложняют течение уже развившегося заболевания, например, хронического бронхита, бронхиальной астмы и других. Эти грибковые заболевания – кандидозы – не имеют непосредственной связи с влиянием биоповреждений зданий, но в условиях сырости и охлаждения, сопутствующих биоповреждениям, на фоне иммунодефицита кандидоз полости рта, бронхов может существенно нарушать состояние здоровья, способствовать увеличению дней трудопотерь и даже быть причиной инвалидности.

Микогенные аллергии – сборное понятие, включающее заболевания, в основе которых лежит сходный механизм – аллергизация организма человека антигенами плесневых грибов. Самая частая форма аллергии, зависящая от влияния биоповреждений зданий, – микогенная бронхиальная астма. В России пока нет статистики этого заболевания, а в других странах Европы и Америки от 50 до 80 % больных бронхиальной астмой положительно реагируют на пробы с антигенами плесневых грибов. Это означает, что грибы являются основной причиной или являются компонентом совокупности причин развития данного заболевания. В Санкт-Петербурге 42 % детей, страдающих хроническими бронхитами и бронхиальной астмой, проживает на первых этажах зданий с признаками биоповреждений.

Кроме бронхиальной астмы, развиваются аллергические микогенные конъюнктивиты, риниты, назофарингиты. Они могут быть самостоятельными или сопровождать бронхиальную астму. Многие больные, страдающие бронхиальной астмой, помнят о том, что заболевание у них начиналось с хронического насморка, с трудом поддававшегося лечению. Во многих случаях астма присоединяется постепенно, сначала в виде эпизодического бронхоспазма, больной это ощущает как свист в груди, затем в виде выраженного приступа удушья или неуклонно прогрессирующего нарушения дыхательной функции.

Аллергические болезни развиваются у лиц со здоровой иммунной системой, особенностью которой является ее повышенное реагирование на генетически чужеродные для организма вещества антигенной природы, к которым относятся компоненты грибковой клетки. Среди всей человеческой популяции только 20 % людей могут заболеть бронхиальной астмой или другими аллергическими болезнями. Этим объясняется то, что не все люди, на которых действуют аллергены, в том числе и живущие в неблагоприятных условиях, заболевают.

#### **7.8.4 Признаки влияния на человека биоповреждений зданий**

Микозы и болезни, входящие в группу микогенных аллергий, не имеют специфичной для них клинической картины. Этим затрудняется их диагностика. Поэтому нередко катаральные явления со стороны органов дыхания – насморк, набухание слизистой оболочки носа, кашель – и болезненными, и врачами объясняются вирусной инфекцией, простудой и пр. Все перечисленные симптомы неспецифичны. Они характерны не только для вирусной инфекции, но в той же степени и для бактериальной, и для грибковой. Более того, практически все респираторные аллергии протекают с этими же явлениями. Поэтому катаральные симптомы сами по себе не могут быть основанием для постановки диагноза.

Для внимательного врача некоторые признаки, на первый взгляд малозаметные, могут указывать на связь заболевания с местом проживания. Первое – это улучшение состояния больного при временном перемещении в другие дома и даже местности. Например, уменьшение кашля, выраженности одышки, ликвидация бронхоспазма, улучшение общего состояния. И, напротив, возвращение всех перечисленных симптомов или усиление их выраженности при возвращении на старое место. Второе – устойчивость к проводимому стандартному лечению. Там, где обычные методы лечения должны помогать больному, улучшение не наступает, если больной остается в своем доме, где на него продолжают действовать домашние аллергены. В некоторых случаях под влиянием лечения наступает даже ухудшение состояния больного, например, при назначении антибактериальных антибиотиков. И, наконец, неустойчивость улучшения после проведенного лечения, тенденция к закреплению развившихся симптомов, постепенное удлинение периодов обострения и сокращение сроков улучшения состояния. Третье – если у больного выделяется мокрота, то плотные включения в виде белых или серых комочков могут указывать на грибковое происхождение легочного процесса.

Если все перечисленные признаки наблюдаются у жителей квартир с признаками биоповреждений, то весьма высока вероятность того, что именно они являются причиной заболеваний людей.

Наиболее подвержены влиянию плесневых грибов дети и пожилые люди. Заболевание ребенка в раннем возрасте может определить его состояние здоровья на всю жизнь. У пожилого человека болезнь может существенно сократить жизнь.

Приведенное краткое изложение проблемы микозов и микогенной аллергии, рассчитанное на неспециалистов, тем не менее, показывает, что это проблема не только медицинская. Она в то же время и социальная, а значит – и муниципальная, и коммунальная. Микозы уже названы болезнями прогресса медицины и цивилизации. Совершенно очевидно, что микозы относятся к категории экологически обусловленных болезней, при которых городская среда обитания определяет их уровень в общей структуре заболеваний жителей города. Уровень



заболеваемости микозами и микогенной аллергией не только свидетельствует о состоянии здоровья отдельных людей или целых больших или малых групп населения, но и является также индикатором состояния жилищных и производственных условий городского жителя.

## 8 ХАРАКТЕРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

---

### 8.1 Фундаменты

**Ф**ундаменты предназначены для передачи нагрузки всей массы здания на грунты основания. Они должны обеспечивать прочность и устойчивость здания. **По конструкции** фундаменты могут быть *ленточными, столбчатыми, сплошными, в виде отдельных опор под колонны, свайными; по материалу – каменными* (в том числе бутовыми), *бетонными и железобетонными*.

Наиболее серьезными повреждениями фундаментов являются их деформации. Они могут быть *местными*, распространенными на отдельных участках, и *общими* по всему периметру здания или его части. Причинами развития деформаций являются не только неравномерные осадки, но и просчеты, допущенные при строительстве и эксплуатации.

В *бутовых и крупноблочных* фундаментах могут быть следующие повреждения:

- просадки;
- вертикальные и косые трещины;
- выщелачивание солей из цементного раствора;
- расслоение кладки и выпадение отдельных камней.

В *железобетонных* фундаментах, кроме того, могут быть:

- отслоение и разрушение защитного слоя;
- сколы, раковины, недоуплотнение бетона;
- коррозия бетона;
- оголение и коррозия арматуры.

*Стены подвалов и цокольные панели* зданий могут иметь те же повреждения. В дополнение к описанным в них могут присутствовать:

- клиновидное раскрытие стыков;
- искривление горизонтальных линий стыков;
- перекосы конструктивных элементов;
- отклонение от вертикали;
- увлажнение стен;
- промерзание стен и др.

Причинами повреждений *фундаментов и стен подвалов* обычно являются:

- недостаточная глубина заложения подошвы фундамента;

- недостаточная площадь подошвы фундамента (недостаточная несущая способность);
- неоднородность несущего и подстилающего слоев основания по длине и ширине здания;
- некачественная кладка блоков (отсутствие перевязки);
- замачивание и промораживание основания в процессе строительства и эксплуатации;
- подтопление подвалов грунтовыми, поверхностными или технологическими водами;
- дополнительные нагрузки на фундамент (при надстройках, неправильном складировании материалов);
- разрушение кладки фундаментов от переувлажнения и действия знакопеременных температур;
- повреждения (разрушение) отмостки.

*Повреждению и разрушению фундаментов способствуют:* вымывание грунта оснований, насыщение влагой прилегающего к ним грунта, появление в грунтовых водах агрессивных для материала фундаментов веществ, пучение грунтов оснований, состоящих из суглинков и глин при коэффициенте фильтрации более 0,001 м/сут, супесей и пылеватых песков, содержащих глинистые частицы.

В практике эксплуатации встречаются случаи, когда в осенне-весенний период происходит наполнение подвалов поверхностной и грунтовой водой. Это происходит в результате некачественного устройства вертикальной и горизонтальной гидроизоляции стен подвалов и фундаментов, а также отсутствия учета в процессе проектирования и строительства подъема уровня грунтовых вод.

Осадки грунта обратной засыпки способствуют проникновению влаги к стенам подвалов и фундаментам через образующиеся трещины между фундаментом и отмосткой.

*Разрушение цокольной части зданий вызывают:* при неорганизованном водоотводе с кровли – малый вылет карнизной части кровли, а при организованном водоотводе с кровли – некачественное устройство мест водосброса из труб ливневой канализации, из-за чего влага попадает на стены цоколя и происходит их замораживание и оттаивание, разрушающее наружную часть стен.

## 8.2 Ограждающие конструкции и стены

Стены зданий и сооружений выполняют функции ограждения, тепло- и звукоизоляции помещений. Они весьма разнообразны по видам материалов и конструктивным решениям. **В зависимости от типа нагружения** стены могут быть *несущими*, воспринимающими нагрузки от крыши, перекрытий, собственной массы и передающими их на фундамент и далее на основание, а также *самонесущими*, которые выполняют функции ограждения и рассчитываются на тепло- и

звукоизоляцию, а стоящий рядом с ними каркас воспринимает нагрузки от перекрытий, покрытий и т. п. Есть еще и третий тип стен – *фахверковые*. Такие стены возводятся в ячейках каркаса-фахверка и несут свою нагрузку только в пределах этой ячейки, а другие нагрузки воспринимает каркас.

**В зависимости от материалов** стены делятся: на *деревянные, из штучных стеновых материалов, железобетонные* и др.

Стены должны быть прочными и устойчивыми при воздействии на них всех видов нагрузок и других факторов, обеспечивать в помещениях требуемый температурно-влажностный режим, звукоизоляцию и другие условия в соответствии с их назначением.

Основными повреждениями *каменных стен* являются:

- трещины различного характера;
- расслоение рядов кладки;
- выветривание кладки;
- отклонение стен от вертикали;
- выпучивание и просадка отдельных участков стен;
- разрушение наружного поверхностного слоя стенового материала и архитектурных деталей;
- разрушение кладки и отдельных элементов стен;
- выпадение отдельных кирпичей (камней);
- отсутствие и выветривание раствора швов кладки;
- пробитые и незаделанные отверстия, ниши, борозды при пропуске коммуникаций, а также ослабление кладки непроектными проемами;
- прогиб балок, перемычек, прогонов, арок;
- отсыревание и промерзание конструкций;
- высолы из раствора и стенового материала.

Факторы, способствующие образованию **т р е щ и н** :

- низкое качество кладки (несоблюдение перевязки, толстые растворные швы, забутовка кирпичным боем);
- недостаточная прочность кирпича и раствора (трещиноватость кирпича, высокая подвижность раствора и т. п.);
- недостаточная несущая способность стен (в узких простенках, перемычках, под опорами балок и т. п.);
- совместное применение в кладке разнородных по прочности и деформативности каменных материалов (керамический и силикатный кирпичи, керамический кирпич и шлакоблоки);
- использование каменных материалов не по назначению (например, силикатный кирпич в сануздах в условиях повышенной влажности);
- низкое качество работ в зимнее время (использование обледенелого кирпича, применение смерзшегося раствора);

– температурные напряжения (при отсутствии температурно-деформационных швов или наличии недопустимо больших расстояний между ними);

– агрессивное воздействие внешней среды (кислотное, щелочное и солевое);

– попеременное замораживание и оттаивание, увлажнение и высушивание;

– неравномерная осадка фундаментов здания.

Повреждения стен в *крупнопанельных зданиях*, как правило, появляются в панелях наружных стен, во внутренних несущих стенах с дымовентиляционными каналами, в вертикальных и горизонтальных стыках между панелями, в примыканиях оконных и дверных коробок к стенам, наружных углах зданий, местах сопряжения перекрытий со стенами, а также в стыках каркаса и сопряжениях его с ограждающими конструкциями. Обычно это:

– смещения и перекосы панелей в плоскости и из плоскости стен;

– протеканность и высокая воздухопроницаемость стыков;

– недостаточная толщина или низкие теплотехнические свойства утеплителя;

– коррозия закладных деталей и крепежных элементов в стыках;

– коррозия арматуры панелей с отслаиванием бетона защитного слоя;

– разрушение наружных увлажненных слоев панелей вследствие попеременного замораживания и оттаивания;

– трещины в панелях от силовых, температурных и влажностных воздействий;

– разрушение заделки стыков;

– недостаточная толщина защитного слоя арматуры в наружных железобетонных слоях стеновых панелей;

– разрушение фактурного слоя.

Наиболее распространенной причиной ускоренного износа стен является периодическое их увлажнение в сочетании с знакопеременными колебаниями температуры.

В стенах, где повреждена или отсутствует гидроизоляция, при повышении уровня грунтовых вод происходит поднятие влаги по капиллярам кладки на высоту до 1 м. Однако в отдельных случаях она может подняться на высоту до 6 м. Это обусловлено наличием электроосмоса, когда под влиянием физических явлений и химических процессов внутри кладки возникают слабые электрические токи, способствующие капиллярному поднятию грунтовой влаги. Зачастую поднимающаяся по стенкам грунтовая влага насыщает стену органическими веществами и образует на их поверхности налеты азотно-кислых соединений. Они очень гигроскопичны, поэтому появляющаяся сырость проникает в толщу стен, разрушая ее. Встречаются случаи намокания и разрушения цокольной части стены даже при удовлетворительном состоянии гидроизоляции и отмостки. Это

происходит, когда грунт снаружи здания расположен выше существующей гидроизоляции, и дождевая влага, проникая через пазухи между гидроизоляцией и отмосткой, увлажняет цокольную часть стены и разрушает ее.

Разрушению цокольной части стены также способствуют ее увлажнение при отсутствии откоса на обресе цоколя, неисправности водоотвода с кровли и недостаточность выноса карниза кровли.

Разрушение кладки стен выветриванием возникает в зданиях, характер производственных процессов в которых сопряжен с большой влажностью воздуха внутри помещения и в стенах, выполненных из недостаточно морозостойких материалов (например, из силикатного кирпича).

Разрушение наружной штукатурки и кладки стен в зданиях с повышенной влажностью воздуха внутри помещения происходит в результате накопления влаги под штукатурным слоем (конденсация влаги), а в зимний период времени – ее обледенения, что сопровождается разрушением штукатурного слоя и кладки.

При эксплуатации крупнопанельных жилых домов часто встречаются протечки в стенах через вертикальные и горизонтальные стыки наружных стен, стыки сопряжений оконных и дверных коробок, плит балконов и лоджий, плит покрытий с панелями наружных стен, что связано с плохой герметизацией стыков, отсутствием противодождевых барьеров в горизонтальных стыках, декомпрессионных каналов и водоотводящих устройств в вертикальных стыках. Конструкция стен может также увлажняться из-за конденсации влаги на их внутренней поверхности или в их толще.

Увлажнение стен наряду с ухудшением их прочностных свойств ведет и к ухудшению их теплотехнических свойств.

Одним из наиболее часто встречающихся повреждений наружных стен зданий является промерзание. Признаки промерзания – наличие пятен сырости, конденсата и плесени, выступающих на внутренних поверхностях стен при понижении температуры наружного воздуха. Во время сильных морозов не исключено выступание на стенах инея и образование наледей. Особенно интенсивно эти повреждения проявляются на вертикальных и горизонтальных стыках панелей верхних этажей.

Разрушению каменной кладки стен, цоколя и карниза кровли способствуют неисправности водосточных труб, а также применение кирпича с низкой морозостойкостью.

На *фасадах зданий, облицованных керамическими плитками*, имеют место:

- выпучивание облицовки;
- выход отдельных плиток из плоскости стен;
- трещины и отколы в углах плиток;

- расстройство крепежных элементов;
- ржавые подтеки из швов облицовки.

В процессе эксплуатации *балконов, лоджий и козырьков* могут возникнуть следующие повреждения:

- отслоение и разрушение защитного слоя;
- уклон к зданию пола балконов и лоджий, а также покрытия козырьков;
- разрушение гидроизоляционного слоя по верху элементов;
- трещины в плитах;
- ослабление или повреждение крепления ограждений и т. д.

Для *стен с применением асбестоцементных листов* характерны следующие повреждения:

- трещины и выколы вследствие механических воздействий;
- набухание или коробление в результате увлажнения и высушивания;
- расслоение листов и выкрашивание цементного раствора из-за попеременного замораживания и оттаивания в увлажненном состоянии;
- коррозионные повреждения креплений и выпадение листов.

В *стенах с применением металла* могут возникнуть следующие повреждения:

- отслоение облицовочного слоя со стороны помещений в зонах швов;
- отслоение от элементов каркасов панелей теплоизоляционного слоя;
- разрушение антикоррозионных защитных покрытий и коррозия металла на участках, подверженных систематическому увлажнению или воздействию химически агрессивных сред, а также в местах контакта разнородных металлов;
- механические повреждения облицовок (погнутости, пробоины и т. п.);
- коррозия соединений листов или их креплений к каркасу панелей либо к несущим конструкциям.

Для *деревянных каркасно-щитовых стен* характерны:

- деформации;
- трещины;
- поражения дереворазрушающими насекомыми;
- поражения дереворазрушающими грибами (обычно нижних концов стоек);
- нарушения плотности конопатки пазов и расстройство соединений между отдельными элементами;
- повреждения наружной облицовки или штукатурного слоя;
- осадка засыпки в каркасных стенах;
- просадка углов или отдельных участков стен.

Наиболее распространенными повреждениями *деревянных бревчатых (брусчатых) стен* являются:

- загнивание древесины вследствие поражения ее дереворазрушающими грибами (особенно нижних венцов);
- поражения древесины дереворазрушающими насекомыми;
- промерзание;
- высокая воздухопроницаемость пазов брусчатых стен и стыков в щитовых панелях;
- выпучивание стен;
- просадка углов;
- разрушение или повреждение штукатурки, обшивки и отделки углов и мест сопряжения внутренних стен с наружными;
- повреждение, малый уклон и неплотное прилегание сливных досок;
- потеря водозащитных свойств горизонтальной гидроизоляции наружных стен.

Причинами загнивания нижних частей деревянных стен могут быть:

- отсутствие или неправильное устройство сливных досок;
- отсутствие гидроизоляционной прокладки между цоколем и нижним венцом сруба или обвязкой;
- обкладывание стен кирпичом без устройства гидроизоляции подполья.

Промерзание и продуваемость деревянных стен происходят:

- из-за неправильной припасовки бревен по длине или в пересечениях;
- плохой конопатки швов;
- отсутствия угловых пилястр.

В *каркасно-щитовых зданиях* эти явления могут происходить:

- вследствие осадки утеплителя;
- плохой тепло- и воздухоизоляции стыков;
- недостаточной плотности обшивок.

### 8.3 Перегородки

К перегородкам предъявляются **следующие требования**: хорошие звукоизоляционные качества, теплоизоляционные свойства, влагостойкость, огнестойкость, малый вес и небольшая толщина.

Наиболее распространенные повреждения:

- зыбкость;
- выпучивание из вертикальной плоскости;
- трещины в теле, швах и местах сопряжения;
- неплотности вокруг трубопроводов, пересекающих перегородки;
- растрескивание и разрушение штукатурного слоя;
- увлажнение в местах расположения трубопроводов и приборов;
- высокая звукопроводность;
- загнивание древесины;
- осадка утепляющего слоя в каркасных конструкциях и т. п.



Зыбкость перегородок является результатом плохого их крепления к стенам и перекрытию, а также загнивания низа деревянной перегородки или осадки основания под перегородками.

Трещины в перегородках обычно возникают из-за осадки основания под ними (фундамента или перекрытия), вибрации перекрытий, а также усушки материала деревянных перегородок. Выпучивание может быть следствием ненадежного крепления перегородок к перекрытию и стенам либо опирания на них перекрытий (большая нагрузка).

Недостаточная звукоизоляция перегородок имеет место, когда в них при обследовании находят щели в местах сопряжения со смежными конструкциями и не соблюдается необходимая толщина воздушной прослойки, а также ее засорение в процессе строительства. Звук может проникать и через неплотности в местах прохождения трубопроводов через перегородки из-за недостаточной заделки этих мест звукоизоляционным материалом.

#### 8.4 Колонны

Колонны являются одним из несущих элементов каркаса здания. **Основные требования** к ним – достаточная несущая способность и устойчивость. По материалу они могут быть *каменными, железобетонными, стальными*.

В *общественных зданиях*, как правило, применяются железобетонные колонны с опиранием на их консоли ригелей, а также с опиранием на оголовки колонны стропильной конструкции в виде балки или фермы. В таких зданиях поддерживается достаточно стабильный температурно-влажностный режим, и повреждения в колоннах возникают в основном вследствие перегрузок консольных частей, когда в них образуются трещины, свидетельствующие о недостаточном армировании или прочности бетона на местное сжатие. Такие же трещины могут быть и в оголовках колонн из-за недостаточной площади опирания стропильной конструкции и появления больших местных сжимающих напряжений.

Колонны же *промышленных зданий* имеют больший диапазон повреждений, которые появляются чаще всего из-за неправильной эксплуатации в условиях сред с различной степенью агрессивности.

К **наиболее серьезным повреждениям**, возникающим от неправильной эксплуатации конструкций и агрессивного воздействия окружающей среды, относятся:

- потеря поверхностным слоем бетона защитных свойств по отношению к арматуре;
- коррозия бетона;
- коррозия арматуры и отслаивание защитного слоя;
- образование в элементах колонн различных трещин;

– снижение прочности бетона в результате воздействия на него производственной среды (пересушивания, воздействия масел, кислот, солей, щелочей и т. д.);

– вибрационные воздействия на конструкции;

– биоповреждения конструкций;

– механические повреждения от пробивки отверстий с обнажением и вырубкой арматуры;

– обнажение арматуры с целью крепления оборудования;

– образование трещин и сколов бетона от ударов при перемещении грузов, работе оборудования и воздействии напольного транспорта.

В железобетонных колоннах возникают трещины в оголовках колонн и консолях, а также в теле колонны по ее длине. По трещинам возможно появление ржавых потеков и пятен, свидетельствующих о развитии коррозии арматуры. Из-за развития коррозионных процессов в бетоне вдоль арматурных стержней появляются трещины, приводящие к отслаиванию, а затем и к разрушению защитного слоя бетона.

При недостаточном поперечном армировании колонн (расстояние между поперечными хомутами больше допустимого) возможно выпучивание арматуры и отслоение защитного слоя бетона.

При длительных воздействиях на железобетонные колонны высоких температур может наступить разрушение защитного слоя и обнажение арматуры.

Для *стальных* колонн характерными повреждениями являются:

– поражение материала колонн коррозией;

– разрушения сварных, заклепочных и болтовых соединений;

– значительные неравномерные осадки колонн, смещение их с разбивочных осей;

– разрывы и местные деформации элементов;

– погнутость фасонки и наличие в них трещин;

– существенные перемещения колонн при прохождении мостового крана, вызываемые недостаточной жесткостью каркаса.

Для *деревянных* стоек характерны следующие повреждения:

– поражение древесины дереворазрушающими грибами;

– поражение древесины дереворазрушающими насекомыми;

– косослойные и продольные трещины в древесине, имеющие значительную ширину раскрытия;

– увлажнение древесины.

Кроме того, при эксплуатации колонн из различных материалов важнейшим видом повреждений является разрушение их соединений, вызываемое увлажнением конструкций, коррозионными повреждениями и т. п., что может привести к снижению жесткости каркаса и созданию аварийной ситуации.

## 8.5 Перекрытия (покрытия)

Перекрытия (покрытие) выполняют многофункциональную роль в общей работе здания. Они являются несущими и ограждающими конструкциями, а также дисками жесткости, обеспечивающими устойчивость здания в целом. Основными требованиями к ним являются: статические, теплотехнические, акустические и противопожарные.

**По материалу** перекрытия (покрытие) выполняют: *сборными железобетонными, монолитными по стальным и железобетонным балкам, кирпичными сводчатыми (арочными), армокаменными, деревянными, смешанными и т. п.*

Основными повреждениями перекрытий (покрытий), выполненных из *сборных железобетонных плит типа ПК*, являются:

- недопустимые прогибы;
- промерзание у наружных стен;
- отслоения защитного слоя бетона;
- коррозия бетона;
- размораживание бетона;
- высолы, сталактиты;
- оголение и коррозия рабочей арматуры;
- оголение и коррозия конструктивной арматуры, закладных деталей;
- трещины различного характера (сквозные, несквозные, нормальные, наклонные, продольные) и степени опасности;
- наличие сколов, каверн, выбоин в бетоне;
- перегрузка плит в процессе эксплуатации;
- высокая звукопроницаемость;
- увлажнения и биоповреждения (мох, плесень, грибок, лишайник).

Основные повреждения перекрытий (покрытий), выполненных из *сборных железобетонных плит типа ПР*:

- недопустимые прогибы;
- промерзание у наружных стен;
- отслоения защитного слоя бетона;
- коррозия бетона;
- размораживание бетона;
- высолы, сталактиты;
- оголение и коррозия рабочей арматуры;
- оголение и коррозия конструктивной арматуры, закладных деталей;
- наличие сколов, каверн, выбоин в бетоне;
- перегрузка плит в процессе эксплуатации;
- трещины различного характера по полкам (сквозные, несквозные; нормальные, наклонные, продольные) и степени опасности;
- трещины различного характера по продольным ребрам (нормальные, наклонные, продольные) и степени опасности;

- трещины различного характера по поперечным ребрам (нормальные, наклонные, продольные) и степени опасности;
- горизонтальные трещины на стыке продольного (поперечного) ребра и полки;

- трещины различного характера по «вутам»;
- увлажнения и биоповреждения (мох, плесень, грибок, лишайник).

Для *монолитных перекрытий (покрытий)*, выполненных по стальным или железобетонным балкам, характерны:

*Плитная часть:*

- недопустимые прогибы;
- промерзание у наружных стен;
- отслоения защитного слоя бетона;
- коррозия бетона;
- размораживание бетона;
- высолы, сталактиты;
- оголение и коррозия рабочей арматуры;
- оголение и коррозия конструктивной арматуры, закладных деталей;
- наличие сколов, каверн, выбоин в бетоне;
- перегрузка плиты в процессе эксплуатации;
- трещины различного характера (сквозные, несквозные; продольные поперечные, нормальные) и степени опасности.

*Балки стальные:*

- недопустимые прогибы;
- коррозия стальных балок различной степени интенсивности;
- трещины различного характера и степени опасности;
- выпучивание балок.

*Балки железобетонные:*

- недопустимые прогибы;
- отслоения защитного слоя бетона;
- коррозия бетона;
- размораживание бетона;
- высолы, сталактиты;
- оголение и коррозия рабочей арматуры различной степени интенсивности;
- оголение и коррозия конструктивной арматуры, закладных деталей различной степени интенсивности;
- наличие сколов, каверн, выбоин в бетоне;
- трещины различного характера (сквозные, несквозные; продольные поперечные, нормальные, наклонные) и степени опасности.

**Наиболее опасными**, требующими, как правило, принятия незамедлительных мер по устранению или предотвращению дальнейшего развития, в *железобетонных конструкциях* являются:

- прогибы изгибаемых элементов со стрелой более  $1/50$  пролета при наличии трещин в растянутой зоне раскрытием более 0,5 мм;

- трещины в бетоне, пересекающие опорную зону анкеровки растянутой арматуры;
- значительное взаимное смещение сопрягающихся сборных элементов с деформациями закладных или соединительных деталей, отрыв анкеров от пластин закладных деталей;
- наклонные трещины раскрытием более 1,5 мм со смещением участков балки относительно друг друга;
- раздробление бетона, выкрашивание крупного заполнителя в сжатой зоне;
- наклонные трещины или другие повреждения либо дефекты защитного слоя бетона, распространяющиеся до арматуры; уменьшение площади рабочей арматуры более чем на 30 %;
- разрыв хомутов в зоне наклонной трещины или в сжатых элементах;
- разрыв арматуры в растянутой зоне;
- выпучивание арматуры в сжатой зоне.

*Материал перекрытий* чувствителен к попеременному изменению влажностного режима, что может привести к ускоренному разрушению бетона, особенно при наличии трещин в бетоне, когда начинает корродировать арматура и происходит отслоение защитного слоя.

В *производственных помещениях* возможно попадание на перекрытие масел (особенно отработанных) и охлаждающих эмульсий, которые, действуя на бетон, приводят к снижению несущей способности плит перекрытий или монолитных перекрытий.

В *деревянных перекрытиях* характерно загнивание деревянного наката, балок (особенно их концов) и т. п., что является следствием неправильной их заделки в стенах, а также нарушения температурно-влажностного режима в помещениях, подполье, на чердаках, в результате чего происходит их увлажнение (образование конденсата).

Одним из наиболее часто встречающихся повреждений деревянных перекрытий (особенно чердачных) является их поражение дереворазрушающими насекомыми и грибами.

В *чердачных помещениях* загнивание деревянных конструктивных элементов перекрытия возникает в результате протеканий кровли, промерзания перекрытий, неудовлетворительного температурно-влажностного режима, а также плохой вентиляции.

В процессе эксплуатации возможно нарушение звукоизоляционных свойств перекрытий. Это происходит прежде всего вследствие появления трещин в элементах перекрытий, а также в местах примыкания перекрытий к стенам. Повышенная звукопроводность может возникнуть из-за отсутствия или износа звукоизоляционных прокладок под лагами или основанием пола, а также в местах сопряжения пола со стенами. Она же может быть следствием малой плотности перекрытия, наличия неплотностей в стыках перекрытий и местах пересечения их трубопроводами.

## 8.6 Подкрановые конструкции

Подкрановые конструкции предназначены для опирания несущих элементов мостовых кранов. Они состоят из *подкрановых балок, тормозных балок или ферм, крановых рельсов, креплений балок к колоннам и кранового рельса к верхнему поясу балки, крановых упоров.*

Сравнительно короткий срок службы подкрановых конструкций связан с особенностями и многообразием силовых воздействий на них.

*Железобетонные подкрановые балки* чаще всего применяются для крановых эстакад, и в них можно отметить следующие повреждения:

- вертикальные и наклонные трещины в стенках балок и на опорных участках;
- разрушение полок балок от их увлажнения и последующего замораживания и оттаивания при расположении конструкций на открытых площадках;
- выколы бетона, обусловленные механическими повреждениями;
- уменьшение прочности бетона вследствие воздействия агрессивных эксплуатационных сред.

Повреждения подкрановых путей:

- ослабление креплений рельса к подкрановой балке;
- значительный износ головки рельса;
- смещение рельсов относительно оси подкрановых балок и наличие искривления подкрановых путей;
- геометрические отклонения от проектных положений подкрановых путей в виде продольных и поперечных уклонов;
- взаимное смещение торцов смежных подкрановых рельсов по высоте и в плане;
- недопускаемый зазор в стыках рельсов, приводящий к дополнительному динамическому воздействию.

Основными причинами повреждений железобетонных подкрановых конструкций являются:

- неравномерная осадка колонн;
- динамический характер воздействия крановых нагрузок;
- воздействие эксплуатационной среды;
- отсутствие мониторинга за техническим состоянием стыков рельсов, болтовых соединений элементов и т. п.

Основные повреждения стальных подкрановых балок:

- разрешение противокоррозионных защитных покрытий;
- продольные трещины в околошовной зоне;
- разрушения сварного шва в сопряжениях опорного ребра со стенкой и верхним поясом;
- повреждения креплений балок к колоннам и между собой;
- повреждения креплений тормозной конструкции к основной колонне;

– трещины в вертикальных диафрагмах, прикрепляющих подкрановую балку к колонне;

– отрыв вертикальных диафрагм от колонн.

Появление продольных трещин вызывает сложное напряженное состояние в сопряжении верхнего пояса металлической балки со стенкой, чему способствуют остаточные сварочные напряжения и дефекты сварного шва.

Трещины в подкрановых балках, выполненных из прокатных профилей, обычно являются результатом хрупкого разрушения из-за низкого качества стали и большого содержания в ней углерода, фосфора и серы. Следует иметь в виду, что подкрановые балки, выполненные из кипящих сталей с повышенным содержанием фосфора и серы, чаще подвержены хрупкому разрушению, так как фосфор делает сталь хрупкой (хладоломкой) при низких температурах и уменьшает ее пластичность при нагреве. Сера делает сталь трещиноватой при высоких температурах.

Трещины в вертикальных диафрагмах, прикрепляющих подкрановую балку к колонне, обычно являются результатом жесткого сопряжения подкрановых балок с колоннами, что препятствует повороту балки на опоре, а также прогиба балки и низкого качества стали диафрагм.

## **8.7 Стропильные конструкции покрытий**

Стропильные конструкции предназначены для восприятия нагрузок от покрытия. Они должны обладать достаточной прочностью и устойчивостью против действия силы ветра, веса снега и людей.

Основными несущими элементами стропильных конструкций покрытий являются *балки и фермы*, а также различные *деревянные стропильные системы*.

Для *железобетонных стропильных ферм* характерны:

– трещины в нижнем и верхнем поясах в основном из-за перегрузки конструкции, а также вследствие излома из плоскости фермы при перевозке, складировании и монтаже;

– трещины в узлах из-за их недостаточного армирования;

– наклонные трещины в опорных узлах из-за нарушения анкеровки напрягаемой арматуры, недостаточного поперечного армирования или снижения прочности бетона;

– нормальные трещины в нижней части нижнего и верхнего поясов при внеузловом приложении нагрузок;

– трещины в элементах ферм вдоль арматуры (с ржавыми потеками), обусловленные коррозией арматуры и нарушением защитного слоя бетона, воздействием агрессивных сред;

– всевозможные сколы бетона или механические повреждения, возникшие при перевозке и эксплуатации, а также коррозии арматуры и огневом воздействии на бетон;

– отслоение фрагментов бетона при огневом воздействии, а также увлажнении в сочетании с действием знакопеременных температур.

В *железобетонных балках покрытий* возможны следующие повреждения:

– вертикальные трещины в растянутой зоне;

– наклонные трещины у опор;

– вертикальные трещины в сжатой зоне;

– биоповреждения.

**Наиболее опасные повреждения, характерные для всех изгибаемых железобетонных элементов, приведены в подразд. 8.5.**

Наличие трещин может быть объяснено перегрузкой конструкции и снижением прочности бетона, а также недостаточной площадью продольной и поперечной арматуры.

Иногда возникают трещины на приопорных участках балок из-за нарушения анкеровки рабочей арматуры и ее проскальзывания.

Сколы защитного слоя бетона, отслоение лещадок и шелушение поверхности бетона происходят по тем же причинам, что и у железобетонных ферм.

*Стальные конструкции покрытий* выполняют из тонкостенных и гибких стержней, имеющих сложную конфигурацию сечений. Они часто имеют напряженное состояние, близкое к предельному, и очень чувствительны к повреждениям элементов, вызывающим объемные деформации (искривления и т. п.) и, в первую очередь, к коррозии стали.

Наиболее характерны следующие повреждения *стальных стропильных ферм*:

– деформации верхнего пояса при внеузловом опирании прогона на ферму;

– искривление стержней ферм, прогибы полок уголков и других элементов ферм, возникшие при их эксплуатации;

– трещины в фасонках ферм из-за внеузлового приложения нагрузки, влияния низких температур;

– трещины в сварных швах;

– срез сварных швов при их перенапряжении, из-за коррозии металла и низких температур;

– разрезы или вырезы в несущих элементах ферм при нарушении правил эксплуатации;

– коррозия элементов поясов, решетки и фасонки при оседании пыли на них, увлажнении и воздействии агрессивной среды.

Для *стальных балок*, используемых в качестве основных несущих элементов покрытия, характерны следующие повреждения:

– недопустимые прогибы и выгибы из плоскости балки вследствие перегрузки или недостаточного закрепления сжатого пояса;



- прогибы полков или стенки балки на отдельных участках из-за местной потери устойчивости и механических повреждений;
- образование трещин в сварных швах и в стенке балки из-за перегрузки и усталостных разрушений;
- вырезы в полках и стенке для пропуска технологического оборудования;
- деформации и потеря устойчивости полков, стенок и ребер жесткости от воздействия высоких температур при пожаре;
- поражение коррозией полков и стенки балки при высокой влажности и воздействии агрессивных сред.

Наиболее распространенными повреждениями *деревянных стропильных систем* являются:

- увлажнение конструкций;
- поражения дереворазрушающими насекомыми;
- поражения дереворазрушающими грибами;
- трещины усушки;
- коробление;
- прогиб конструкций;
- ослабление узловых соединений.

Увлажнение древесины происходит из-за протечек в кровле и образования конденсата внутри чердачного помещения, а также вследствие неудовлетворительного состояния гидроизоляции участков деревянных конструкций при соприкосновении их с кирпичной кладкой или бетоном.

Стропила, ригели и фермы покрытий, изготовленные из древесины влажностью более 18 %, после высыхания изгибаются, древесина претерпевает усадку, что приводит к короблению.

Причиной большого прогиба несущих деревянных конструкций могут быть и недостатки проектирования, когда сечение конструкций назначено без учета всех нагрузок.

Ослабление узловых соединений, их расшатывание происходит при усыхании влажной древесины, когда связи в узлах со временем ослабевают, шипы выпадают из своих гнезд, расшатываются скобы. Иногда концы балок перед кривой подпоркой скалываются, если плоскость скалывания короткая или если врубка с двойным зубом выполнена неправильно.

В деревянных стропильных конструкциях покрытий чаще всего деформации происходят из-за усушки и усадки древесины.

Для *деревянных балок покрытий* характерны следующие повреждения:

- прогибы;
- разрушение пролетных частей балок;
- увлажнение конструкций;

- поражения дереворазрушающими насекомыми;
- поражения дереворазрушающими грибами;
- трещины усадочного характера;
- ослабление сечений в результате появления трещин различного характера, а также воздействия биоповреждений;
- расслоение и коробление клееных конструкций.

От температурно-влажностного режима помещения (его вентиляции), увлажнения древесины зависят такие повреждения, как:

- продольные трещины усушки;
- загнивание древесины, особенно опорных участков балок;
- нарушение плотности соединений составных балок;
- расслоение и коробление клееных балок.

### **8.8 Лестницы**

Лестницы по своему назначению подразделяются на *основные* и *второстепенные*. Они состоят из *маршей и площадок*, размещаемых в лестничной клетке, и бывают *каменные – из естественного и искусственного камня; бетонные и железобетонные; металлические и деревянные*.

Распространенными повреждениями лестниц из *естественного и искусственного камней* являются:

- изломы проступей и ступеней;
- растрескивание ступеней;
- увлажнение, размораживание и разрушение материала ступеней;
- нарушение непрерывности лестничного марша;
- расхождение ступеней наружной лестницы из-за воздействия низких температур;
- ослабление креплений перил.

Причины возникновения этих повреждений связаны с неправильной укладкой ступеней, механическими воздействиями на них и естественным износом.

Часто отмечается расшатывание перил у лестниц, вызываемое ослаблением заделки их стоек.

Неправильная установка ступеней наружных лестниц (с уклоном ступеней к швам соединений) ведет к их промерзанию зимой и разрушению.

В *бетонных и железобетонных лестницах* отмечаются следующие основные повреждения:

- изломы и трещины различного характера;
- ослабление заделки консольных (висячих) лестниц;
- повреждение облицовок, а также выбоины и изломы в них;
- деформации железобетонных конструкций;
- отслаивание и разрушение защитного слоя бетона;
- оголение и коррозия арматуры;

- деформации косоуров;
- изломы монолитных лестничных площадок;
- биоповреждения бетона;
- размораживание бетона наружных лестниц.

Трещины, появляющиеся в сжатом поясе лестниц, армированных как двухопорные балки, являются результатом ослабления поперечного сечения.

Для *наружных лестниц* причинами большинства повреждений являются увлажнение и попеременное замораживание и оттаивание.

У *стальных лестниц* могут быть следующие повреждения:

- чрезмерный прогиб несущих элементов;
- трещины и изломы соединительных элементов;
- деформация ступеней;
- выступы соединительных элементов;
- коррозия всех или части стальных конструкций;
- истертость и отполированность поверхности ступеней.

*Металлические лестницы* в большинстве своем находят ограниченное применение, в основном для обслуживания технологических площадок и в качестве эвакуационных.

Чрезмерный прогиб косоуров лестниц свидетельствует об их недостаточной жесткости и ошибках в проектировании, а наличие коррозии – о недостатках в защите от нее при эксплуатации лестниц.

Для *деревянных лестниц* характерны повреждения:

- поражения дереворазрушающими насекомыми и грибами;
- истирание ступеней, щели, растрескивание древесины от механического воздействия;
- прогиб элементов;
- ослабление сечений и узловых соединений;
- зыбкость;
- коробление и потеря устойчивости конструкций.

Причинами большинства повреждений деревянных лестниц являются увлажнение конструкций, биопоражения древесины и износ элементов.

## **8.9 Окна, двери, ворота, фонари**

Окна, двери, ворота и фонари должны обладать определенной тепло-, влаго- и звукоизоляцией, а окна и фонари еще и обеспечивать достаточную освещенность помещений и их вентиляцию.

Основными повреждениями *окон* являются:

- гнивание материала оконных коробок, подоконных досок и переплетов;
- расстройство сопряжений деталей оконных переплетов;
- перекосы и неплотность притвора;

- неисправность оконной фурнитуры;
- износ уплотнений соединений;
- разрушение окраски оконных переплетов и отставание замазки;
- некачественно выполненный подоконный слив;
- отсутствие или загрязнение отверстий для отвода конденсата из межрамного пространства;
- повреждения остекления (отсутствие стекол, трещины и выколы);
- проникание атмосферной влаги через заполнения оконных проемов вовнутрь помещения;
- повышенная воздухопроницаемость.

Основными дефектами *дверей* является их недостаточное крепление к коробкам, а также коробок к стенам и перегородкам, в результате чего в процессе эксплуатации коробки возникает ряд повреждений:

- расшатывание и растрескивание дверных коробок;
- искривление и коробление дверного полотна;
- истирание материала на отдельных участках;
- загнивание элементов в нижней части вследствие периодического увлажнения;
- местные разрушения на участках крепления ручек и установки замков.

Для *балконных дверей* характерны точно такие же повреждения, как и для окон.

Неплотный притвор в наружных дверях ведет к образованию наледи зимой, набуханию коробки и полотна, а следовательно, и к преждевременному износу конструктивных элементов.

Причинами загнивания *деревянных элементов окон и дверей* могут быть:

- применение сырых изделий (влажностью более 18 %);
- некачественная гидроизоляция;
- намокание при отсутствии или неправильном устройстве сливов (недостаточный вылет слива, отсутствие слезника, загибов сливов в откосах кладки);
- проникание атмосферной влаги в неплотности между стеной и коробкой;
- конденсация и несвоевременный отвод влаги из межрамного пространства.

Использование пиломатериалов повышенной влажности для дверных и оконных блоков приводит к их дальнейшей усушке, короблению в процессе эксплуатации и образованию неплотностей в притворах.

Набуханию переплетов и полотна балконных дверей от атмосферной влаги и их загниванию способствует также несвоевременное обновление окраски переплетов и обмазки стекол.

Для *металлических переплетов* основными повреждениями являются разрушение защитного покрытия и коррозия

элементов, вызываемые увлажнением конструкций и неудовлетворительной эксплуатацией (отсутствием восстановления защитного покрытия в положенные сроки).

*Фонари*, в основном, устраивают для лучшего освещения рабочих мест и аэрации производственных помещений. С течением времени освещенность через них резко снижается, что связано с тем, что стекла фонарей покрываются производственной пылью и копотью.

Появление трещин в стеклах и даже выпадение стекла из фонарей связано с разрушением уплотнительных прокладок, а также деформацией переплетов.

Протекание влаги внутрь производственных помещений происходит из-за неплотностей притвора и разрушения стекольного заполнения фонарей.

### 8.10 Полы

Полы помещений гражданских и промышленных зданий предназначены для восприятия и перераспределения нагрузок от людей, оборудования, транспорта и складированных материалов. Они должны хорошо сопротивляться механическим воздействиям (истиранию, удару, продавливанию и т. п.), иметь необходимую жесткость и упругость, малую теплопроводность, быть ровными, нескользкими, бесшумными при ходьбе и езде.

Основные виды полов: *дощатые (в т. ч. паркетные); линолеумные; плиточные; бетонные; мозаичные; ксилолитовые и др.*

Основные повреждения *оснований* полов:

- недостаточная теплостойкость;
- влажность (сырость);
- проникновение шума в помещение через конструкцию пола;
- расслаивание и появление трещин на поверхности цементно-песчаной стяжки;
- отслаивание основания цементно-песчаной стяжки от основания.

Недостаточная теплостойкость полов, появление влаги (сырости) на поверхности покрытия пола связаны с ухудшением теплоизоляционных свойств материалов из-за увеличения плотности утеплителя при сжатии под нагрузкой, превышающей нормативную; дефектами в гидроизоляционном слое, в результате чего влага попадает в утеплитель.

Проникновение шума в помещение через конструкцию пола может быть вызвано эксплуатацией пола под нагрузкой, превышающей нормативную и нарушением сплошности элементов пола.

Разрушение выравнивающей цементно-песчаной стяжки, отслаивание от основания; расслаивание и появление трещин на поверхности стяжки вызывают дефекты в

гидроизоляционном слое, в результате чего влага попадает в утеплитель.

Основными повреждениями *ковровых покрытий* являются:

- вмятины;
- продавливание;
- износ отдельных участков ковра;
- износ ворса.

Появление вмятин, продавливание, износ участков ковра, износ ворса и т. д. связано с нарушением правил эксплуатации покрытия пола (большие сосредоточенные нагрузки и др).

Для *дощатых полов* характерны:

- истирание в местах интенсивного движения, изношенность полов;
- рассыхание и коробление пологого бруса и досок;
- местные просадки;
- зыбкость и загнивание дощатых полов;
- потемнение и потеря блеска покрытия, изменение цвета дерева;
- деформации лаг.

Появление щелей и коробление дощатых полов, пологого бруса возможно при повышенной влажности (более 18 %) древесины или применении изначально сырых пиломатериалов. Влага, попадающая на дощатые полы при частом их мытье и протечках санитарно-технических систем, ведет к короблению и загниванию древесины.

Полы первого этажа при плохой вентиляции и недостаточной теплоизоляции отсыревают и подвергаются повреждению дереворазрушающими грибами. Аналогичные явления наблюдаются при недостаточном проветривании лаг дощатых полов в междуэтажных перекрытиях.

Прогиб лаг наблюдается при недостаточной их жесткости (недостаточная площадь сечения) либо слишком большом шаге. Также прогиб лаг и местные просадки возникают при превышении максимально допустимой нагрузки на пол.

Повреждения *паркетных* полов:

- зыбкость;
- отслаивание планок паркета от основания;
- набухание планок и покоробленность участков покрытия;
- износ лицевого покрытия щита;
- вспучивание панелей;
- изменение цвета;
- вспучивание паркета;
- трещины.

Зыбкость покрытия при ходьбе по полу происходит из-за разрушения деревянного основания в результате появления грибов и насекомых; потери прочности или разрушения цементно-песчаной

стяжки; слабого сцепления с основанием покрытия пола из штучного паркета из-за пришедших в негодность клеевой прослойки или грунтовки.

Причинами отслаивания планок паркета от основания могут быть: неровность участков основания (выбоины, наплывы раствора); старение клея или мастики и ухудшение в процессе эксплуатации их физико-механических свойств; попадание пыли на поверхность клеевого состава перед настилкой паркетных планок; частое смачивание покрытия паркетного пола влагой или повышенная влажность в помещении (более 60 %) при эксплуатации полов.

Набухание планок и покособленность участков покрытия может быть связана с укладкой паркета с зазорами между планками меньше допустимых и попаданием влаги на планки паркета, не покрытые лаком или мастиками.

Износ лицевого покрытия щита наступает в результате длительной или очень интенсивной эксплуатации помещений, в которых полы устроены из щитов художественного паркета.

Вспучивание досок. Влага быстро удаляется из основания и накапливается под лакированной поверхностью, в результате чего происходит набухание. Высокое содержание влаги приводит к аналогичному результату. Это особенно заметно на чувствительных к набуханию породах дерева, таких как бук или клен.

Изменение цвета может вызываться ультрафиолетовым излучением солнца, особенно для светлых пород дерева. Изменение цвета также является реакцией на мочу, воду или моющие средства.

Вспучивание паркета происходит под воздействием на него повышенной влажности и/или недостаточного расширительного зазора. Также к вспучиванию приводит недостаточный сдвиг между соединениями досок в соседних рядах.

Трещины вызывает сжатие паркета в результате сухости воздуха внутри помещения. В зимний период допускаются небольшие трещины, которые исчезают с приходом теплого сезона. Волнообразные трещины – тонкие листовые трещины, особенно в дубе, могут появиться через некоторое время после укладки или лакирования. Они являются результатом движения дерева.

Для *линолеумных* полов характерны:

- отклеивание кромок и отдельных участков линолеума;
- изношенность;
- щели и наплывы;
- нарушение целостности.

В линолеумных полах целостность поверхности нарушается вследствие частого мытья вместо протирки, истирания и задиров стыков, механических повреждений, просадки подстилающего слоя, а также усадочных деформаций материала.

Разрушение линолеума происходит чаще в швах (при их некачественном выполнении) и по выступающим бугоркам (при наклейке покрытия на неровную поверхность).

Отклеивание кромок и отдельных участков линолеума может произойти в результате попадания в шов различных растворителей или воды.

Изношенные участки покрытия появляются в результате неравномерной или длительной эксплуатации.

Щели и наплывы образуются от преждевременной прирезки кромок линолеума, т. е. в случае, если не выдержан определенный срок вылеживания полотнищ. Поливинилхлоридный и коллоксилиновый линолеумы дают усадку, и между отдельными полотнищами образуются щели. Глифталевый линолеум после приклейки увеличивается в ширину и уменьшается в длину, поэтому в продольных стыках получают наплывы, а в поперечных образуются щели.

Целостность слоя нарушается вследствие частого и обильного мытья вместо натирки или протирки мокрой тряпкой, вследствие повреждений, просадки подстилающих слоев, а также усадочных деформаций материала.

Основные повреждения *плиточных* полов:

- отставание и отклеивание отдельных плиток;
- коробление кромок и углов у наклеенной плитки;
- отслаивание отдельных плиток;
- выбоины, преждевременный местный износ.

Причинами отставания и отклеивания поливинилхлоридных плиток является повышенная его влажность.

Коробление кромок и углов у наклеенной плитки происходит из-за попадания в швы бензина или других веществ, применяемых для очистки покрытий и растворяющих мастику.

В плиточных полах причинами отслаивания отдельных плиток являются недостаточная выдержка после укладки плиток на цементном растворе и механические удары по полу.

Выбоины и преждевременный местный износ полов являются следствием механических повреждений (при передвижке по ним тяжелых предметов, ударах и др.).

Повреждения *бетонных и мозаичных* полов:

- коробление поверхностного слоя;
- пыление;
- расслаивание поверхности бетона;
- выбоины и сколы;
- трещины;
- коррозия бетона;
- появление влажных пятен.



Коробление бетонного пола может вызвать неправильный или неполный анализ температурных условий или уровня влагосодержания.

Основная причина пыления бетона – низкая прочность цементного слоя. На поверхности бетона образуется характерная кремнеземная (бетонная) пыль, которая при эксплуатации пола легко переносится, попадает в воздух и осаждается на всех поверхностях.

Расслаивание поверхности на наружных площадках, где бетон подвержен циклам замораживания / оттаивания, на глубину около 3 мм возможно в случае отсутствия в бетоне порообразующих (воздухововлекающих и газовыделяющих) добавок.

В бетонных, цементных и мозаичных полах к появлению трещин различного характера, сколов и выбоин приводят механические воздействия, температурно-влажностные напряжения, а также некачественная эксплуатация.

Если бетонная поверхность имеет трещину, то проникновение воды, солей, углекислого газа может вызвать разрыв и коррозию бетона основания. Интенсивное разрушение поверхностного слоя происходит под воздействием агрессивных сред (кислот, щелочей).

Причиной влажных пятен на бетонном полу может являться конденсация влаги.

Основные повреждения *кислосиликатных* полов:

- выпучивание;
- деформация поверхности.

В *кислосиликатных* полах выпучивание и деформация поверхности наблюдается вследствие неправильного устройства основания, загрязнения его или зыбкости, а также неправильного состава *кислосиликатной* смеси.

## 8.11 Кровли

Кровли предназначены для защиты зданий от дождя, снега, резких колебаний температуры наружного воздуха и солнечных лучей. Они должны быть непроницаемыми для воды и снега, обеспечивать необходимую вентиляцию чердачного пространства и тепловую защиту верхнего этажа. Кровли являются наиболее уязвимыми ограждающими конструкциями. Их повреждения возникают чаще всего из-за нарушения правил эксплуатации и сроков систематических осмотров и ремонтов.

Основными повреждениями *рулонных* кровель являются:

- расстройство швов в местах наклейки одной полосы рулонного материала на другую;
- отслаивание кровельного ковра от основания;
- неплотное прилегание кровельного покрытия к основанию в местах примыкания к вертикальным поверхностям;

– отрыв гидроизоляционного ковра и его отгибание (либо аналогичные повреждения только верхних слоев гидроизоляционного ковра);

– образование в слоях рулонного ковра отдельных вздутий-"мешков", наполненных воздухом или водой;

– растрескивание верхнего покровного слоя рулонного покрытия;

– разрывы кровельного ковра и пробоины;

– трещины на кровельном покрытии в местах примыкания к опорам телеантенн, радиоточек, вытяжных труб и т. п.;

– разрушение и исчезновение защитного гравийного покрытия;

– просадки кровельного ковра;

– застаивание воды на плоском покрытии;

– протечки кровли на участках повреждений гидроизоляционного ковра;

– протечки в местах примыкания кровельного покрытия к парапетам и другим вертикальным поверхностям;

– протечки кровли в местах расположения воронок внутреннего водостока;

– увлажнение и промерзание теплоизоляционного слоя; появление сырости на потолке верхнего этажа при неповрежденном кровельном ковре;

– вмятины, складки или трещины над стыками теплоизоляционных плит;

– смещение, повреждения (сколы, размораживание бетона, оголение и коррозия стержней арматурных сеток, биоповреждения) железобетонных парапетных плит;

– увлажнение карнизов и стен;

– нарушение герметичности соединения дождезащитных зонтов с трубами;

– биоповреждения.

Расстройство швов в местах наклейки слоев происходит при несоблюдении величины нахлестки полотнищ по ширине, отсутствии раскатывания рулонного материала перед наклейкой и его пригонки по месту.

Отслаивание кровельного ковра от основания или другого слоя наблюдается при недостаточном сцеплении мастики с основанием из-за несоблюдения технологии подготовки поверхностей и наклейки слоев.

Причинами разрывов кровельного ковра являются щели и трещины в плиточном или монолитном основании, механические повреждения покрытия при производстве кровельных работ, зыбкость основания.

Отслаивание дополнительного водоизоляционного ковра и фартука от выступающих вертикальных участков примыканий кровель может быть вызвано приклеиванием полотнища рулонных материалов к неподготовленной выступающей поверхности; отсутствием надежного закрепления верхнего края водоизоляционного ковра и фартука.

Вздутия образуются при деформациях асфальтобетонной стяжки при интенсивном воздействии солнечных лучей, а также невыполнении требований СНиП об устройстве температурно-усадочных швов. Вздутия диаметром более 1 м вызываются повышенным влагосодержанием теплоизоляционного слоя из-за некачественно выполненной пароизоляции. В этом случае водяной пар вместе с тепловым потоком поднимается вверх и диффундирует через покрытие и утеплитель до паронепроницаемого слоя. Пары, не встречая на своем пути препятствия, охлаждаясь, конденсируют. Зимой переувлажненный теплоизоляционный материал в условиях частых оттепелей многократно замерзает и оттаивает. Наличие влаги в толще утеплителя приводит к разрушению кровельного ковра, так как при отрицательных температурах она конденсируется, а затем частично или полностью переходит в твердое состояние (лед). Замерзая, вода отрывает кровельный ковер от основания и увеличивает поры в кровельном материале. В летний период, когда температура наружной поверхности кровли может достигать 80 °С, капли влаги, находящейся в замкнутом пространстве, превращаются в пар и могут увеличиваться в объеме в 15–40 раз, поэтому образуются воздушные мешки, достигающие более 1 м в диаметре.

Трещины в защитном слое битумной мастики, нанесенном на поверхность кровельного ковра, образуются при отсутствии защитной посыпки, вследствие чего происходит старение битумных кровельных материалов, разрушения битумов под воздействием ультрафиолетовых лучей; на кровельном покрытии в местах опор телеантенн, радиоточек, вытяжных труб – если срок службы заделок в местах сопряжения истек и требуется ремонт, а протечки на данных участках обусловлены наличием отверстий и свищей в местах сопряжения кровли с опорными частями конструкций.

Протечки в местах примыкания кровельного покрытия к вертикальным поверхностям возникают при отслаивании от них рулонного ковра из-за неправильной заделки концов полотнищ в борозды или неправильного крепления их к заложной в стене рейке; протечки у воронки внутреннего водостока – если чаша воронки водостока перед оклейкой не была очищена от ржавчины, что вызвало отставание оклейки; либо имелось повреждение кровли у воронки внутреннего водостока.

Причиной растрескивания верхнего покровного слоя рулонного покрытия является старение мастики.

Увлажнение и промерзание теплоизоляционного слоя вызываются нарушением пароизоляции либо повреждением гидроизоляционного ковра.

Застаивание воды на кровельном покрытии возникает при уплотнении, деформации теплоизоляционного слоя на

отдельных участках; повреждениях гидроизоляционного ковра (вмятины, складки и т. п.).

Вмятины, складки или трещины над стыками теплоизоляционных плит образуются: при усушке или разбухании органических теплоизоляционных материалов; деформации теплоизоляционных пенопластов и других материалов, уложенных без необходимой выдержки после изготовления; повреждении углов и кромок теплоизоляционных материалов; вибрации несущих конструкций плоского покрытия, особенно настилов с низкой жесткостью при изгибе (дощатый настил, настил из древесно-стружечных плит).

Причинами просядок кровельного ковра являются увлажнение и уплотнение утеплителя, механические воздействия от людей и оборудования при применении «мягкого» утеплителя.

Увлажнение карнизов и стен вызвано недостаточной высотой подъема рулонных материалов в местах примыкания кровли к вертикальным поверхностям, выходящим выше крыши.

Выход из строя верхнего слоя рулонного ковра (исчезновение гравийного защитного слоя, высушивание) происходит под влиянием атмосферных воздействий: дождя, воды, снега, солнечной радиации.

Основным повреждением утеплителя является его повышенная влажность, что ведет к росту теплопроводности, вызываемая замораживанием утеплителя в период строительства, протечками и выпадением конденсата внутри покрытия при плохо выполненной пароизоляции.

Повреждениями *стальных* кровель являются:

- протечки кровли;
- искривление, коробление отдельных картин;
- механические и коррозионные повреждения картин и элементов крепления;
- отрыв картин и других отдельных элементов кровли от обрешетки;
- интенсивное образование наледей и сосулек;
- увлажнение обрешетки;
- поражение и повреждения обрешетки дереворазрушающими грибами;
- прогиб обрешетки под эксплуатационной нагрузкой на величины, превышающие допускаемые значения;
- биоповреждения картин (мох и т. п.).

Причинами протекания кровель являются: неплотное обжатие стоячих или лежачих фальцев либо до обжатия отсутствие промазывания замазкой на железном сурике или свинцовых белилах, присутствие на кровле мелких отверстий, свищей, пробоин.

Отрыв элементов кровли вызывается недостаточным креплением или разрушением (в том числе вследствие коррозии) клеммеров (для крепления картин к обрешетке), крючьев (для крепления

настенных желобов), костылей (для поддержания карнизных свесов), ухватов (для крепления водосточных труб, воронок, отмета к стенам здания).

Образование наледей и сосулек происходит при разнице температуры наружного воздуха и температуры воздуха на чердаке выше 4 °С из-за поступления тепла в чердачное помещение от некачественной, недостаточной теплоизоляции трубопроводов, воздухоотборников, стояков, недостаточной толщины насыпного утеплителя.

Коррозия кровельных листов происходит от воздействия слабых кислот и щелочей, образующихся при выпадении атмосферных осадков. Наиболее бурно этот процесс протекает, если на кровле скапливается мусор, листья и хвоя.

Увлажнение обрешетки обусловлено повреждениями кровельного покрытия.

Прогиб обрешетки вызывают недостаточное сечение элементов обрешетки, большой требуемый шаг брусков (досок), увеличение эксплуатационной нагрузки (снеговой и т. п.).

Биоповреждения кровли возникают не только от агрессивности среды, но и от механического разрушения кровли корневой системой растений.

Для кровель из *асбестоцементных листов, плиток и черепицы* характерными повреждениями являются:

- неплотное прилегание листов друг к другу;
- разрушение элементов крепления;
- протечки кровли;
- смещение отдельных листов;
- трещины, сколы и разрушение отдельных элементов;
- отверстия в асбестоцементных листах;
- потемнение асбестоцементных листов;
- биоповреждения (мох, лишайник);
- повреждения элементов наружного организованного водоотвода;
- отсутствие отдельных участков водосточных труб в нижней части;
- разрушение креплений элементов системы и т. п.

Причинами протечек является нарушение плотности соединений и целостности, смещение отдельных элементов покрытий.

Трещины возникают вследствие температурных воздействий, механических повреждений листов при хождении по покрытию, отрыва плохо закрепленных деталей ветром, растрескивания листов при деформации обрешетки.

Смещение элементов кровель из штучных материалов обусловлено разрушением элементов креплений листов, плиток и т. п. к обрешетке.

Потемнение асбестоцементных листов вызывают старение материала, биоповреждения (прорастание лишайников, мха).

Причинами повреждений элементов водоотвода являются:

- коррозионные процессы;
- старение материалов;
- некачественное крепление элементов либо недостаточное их количество;
- замерзание воды в водосточных трубах и водоприемных желобах, обусловленные, в свою очередь, недостаточным сечением водосточных труб, несвоевременной их очисткой.

Наиболее частым повреждением кровли, свидетельствующим о процессах старения, разрушения материалов, их деформации и т. п. являются протечки, как следствие повреждений водоизоляционного слоя, включая элементов его крепления.

Все протечки делятся на три типа:

1 – возникающие непосредственно после дождя или через непродолжительное время. Причинами их образования являются механические повреждения, деформации основания кровли, допущенный при производстве брак. В этом случае наиболее возможными местами повреждений являются места пересечения кровли инженерными коммуникациями и места деформации оснований;

2 – появляющиеся через некоторое время (от нескольких часов до нескольких дней) после таяния снега на кровле. Их причинами являются образование трещин в местах примыканий к торцевым и продольным парапетам, вентиляционным шахтам, в местах выхода на кровлю, в местах стыков плит покрытия; микротрещин в покровном слое рулонного материала; нарушения герметичного примыкания кровельного ковра к поддону водоприемной воронки; недостаточная герметичность в местах прохода через кровлю стоек ограждения покрытия;

3 – проявляющиеся при определенном направлении ветра или угле наклона струй дождя (мерцающие протечки). Причинами образования являются микротрещины в отдельных слоях кровельного ковра, недостающая ширина фартуков и зонтов над строительными конструкциями, некачественное заполнение швов в кирпичной кладке парапетов и стыков парапетных панелей.

## **9 ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ – ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

---

**Д**ефекты и повреждения должны выявляться в процессе постоянного слежения за техническим состоянием конструкций и по мере их появления (выявления) сразу устраняться, поскольку даже малозначительные, развиваясь во времени, могут стать причиной выхода из строя не только элементов и конструкций, но и зданий и сооружений в целом. Причем следствием обрушения либо разрушения конструкций зачастую является не только значительный материальный ущерб, результатом аварии могут стать загубленные человеческие жизни, что несоизмеримо выше.

Для возможности оценки влияния развития дефектов и повреждений на техническое состояние конструкций и зданий в целом ниже приведены примеры аварийных ситуаций.

### **9.1 Обрушение плит покрытия формовочного цеха**

12 марта 2006 года произошло обрушение участка покрытия формовочного цеха над пропарочными камерами. В процессе обрушения две плиты покрытия упали на пропарочные камеры, две получили критические повреждения и остались лежать на стропильной ферме, частичные повреждения получила колонна.

Главный производственный корпус – одноэтажный, построен в 1985 г.

Тип здания – каркасный.

Каркас составляют железобетонные колонны типа К сечением 300×400 мм (серия 1.423-3), типа КП (серия КЭ-01-49), железобетонные фермы типа ФБ18 (серия ПК-01-129/68). Фермы над верхним поясом имеют дополнительные стальные стойки, выполненные из двутавра № 20 для устройства малоуклонной кровли.

Покрытие – железобетонные ребристые плиты размерами 3,0×12,0 м (серия 1.465-3). Панели стеновые – типа ПСЛ (серия 1.432-5). Кровля – рулонная.

Фрагмент общего вида производственного корпуса изнутри представлен на рисунке 9.1.



Рисунок 9.1 – Фрагмент общего вида цеха изнутри на участке обрушения: обрушение и полное разрушение двух крайних плит покрытия

Фрагменты поврежденных конструкций представлены на рисунках 9.2, 9.3.



Рисунок 9.2 – Фрагмент участка опирания фермы: оголение и пластинчатая коррозия хомутов; отдельных участков конструктивной и рабочей арматуры; разрушение бетона защитного слоя





Рисунок 9.3 – Фрагмент поврежденного участка покрытия:  
обрушение двух крайних плит; излом плиты; полное разрушение опорного участка  
плиты; деформация стальной стойки

В результате детального обследования несущих конструкций главного производственного корпуса для выяснения причин возникновения аварии установлено следующее:

- полное обрушение двух плит покрытия и частичное обрушение еще двух плит произошло вследствие деформации металлической стойки и полной потери ее устойчивости;
- причиной деформации металлической стойки явилась интенсивная электротермическая коррозия металла, обусловленная, в первую очередь, работой пропарочных камер и отсутствием защитного покрытия металла стойки.

На момент обследования из общего количества металлических стоек (23 штук):

- 43 % (10 штук) находились в не вполне удовлетворительном состоянии, что соответствовало III категории технического состояния конструкций согласно СНБ 1.04.01-04;
  - 43 % (10 штук) – в неудовлетворительном состоянии, что соответствовало IV категории технического состояния конструкций согласно СНБ 1.04.01-04;
  - 14 % (3 штуки) – в предаварийном состоянии, что соответствовало V категории технического состояния конструкций согласно СНБ 1.04.01-04.
- Фрагменты стоек представлены на рисунках 9.4–9.6.



Рисунок 9.4 – Фрагмент оголовка стойки:  
пластинчатая коррозия опорного столика значительной степени интенсивности



Рисунок 9.5 – Фрагмент опорной части стойки:  
пластинчатая коррозия двутавра и опорной пластины  
значительной степени интенсивности



Рисунок 9.6 – Фрагмент стойки:  
пластинчатая коррозия двутавра и опорного столика значительной интенсивности;  
потеря устойчивости опорного столика

Таким образом, причиной аварии явилась цепочка нарушений требований строительной и эксплуатационной нормативной документации.

При монтаже стойки не были покрыты специальным антикоррозионным составом (с учетом повышенной агрессивности среды), а огрунтованы и покрашены обычным составом. При эксплуатации конструкций под воздействием интенсивного конденсационного увлажнения на поверхности металла развились коррозионные процессы. Отсутствие постоянного контроля за состоянием стоек, несвоевременная очистка металла от продуктов коррозии и возобновления антикоррозионного покрытия привело к интенсивному развитию пластинчатой коррозии металла, повлекшему деформацию стойки и полную потерю несущей способности.

## 9.2 Обрушение участка покрытия крытого рынка

14.03.2005 г. произошло обрушение участков покрытия рынка площадью до 54 м<sup>2</sup> в двух пролетах.

Основными несущими элементами покрытия являются деревянные клееные полуарки типа АКД сеч. 200×1360 мм и деревянные клееные балки сеч. 150×260 мм типа П (Проект 8г. 78-01). Крепление балок к

полуаркам осуществлялось посредством металлических деталей типа МД.

Состав покрытия на обследованных участках представлен на рисунке 9.7.



Рисунок 9.7 – Состав покрытия

Проектный состав покрытия представлен на рисунке 9.8.



Рисунок 9.8 – Состав покрытия (проектный)

Фрагменты покрытия представлены на рисунках 9.9, 9.10.

В результате детального обследования участков обрушения было установлено следующее:

- листы кровельного покрытия подверглись значительной коррозии (особенно расположенные на участках стыков, под частями листов, образующих нахлест);

– металлические детали крепления балок на участках обрушения подверглись коррозии (в т. ч. пластинчатой, на отдельных участках произошло полное разрушение) (рисунки 9.11, 9.12);



Рисунок 9.9 – Фрагмент участка обрушения (вид снизу):  
обрушение и полное разрушение двух участков покрытия





Рисунок 9.10 – Фрагмент покрытия на участке обрушения (вид сверху):  
разрушение кронштейнов и срез балок



Рисунок 9.11 – Фрагмент балки покрытия:  
интенсивная коррозия и полное разрушение кронштейна



Рисунок 9.12 – Фрагмент крепления балки:  
переувлажнение балки в опоре; интенсивная коррозия и разрушение  
участка кронштейна

– участки обвязки из оцинкованной стали подверглись коррозии (в т. ч. пластинчатой; на отдельных участках элементы обвязки разрушены полностью) (рисунок 9.13);

– участки деревянного настила подверглись гниению;

– утеплитель на отдельных участках находится в переувлажненном состоянии;

– деревянные клееные конструкции находятся в переувлажненном состоянии (рисунок 9.14).

На момент обследования было установлено:

– все конструкции покрытия находились в переувлажненном состоянии;

– более 70 % металлических деталей крепления балок подверглись коррозии (в т. ч. пластинчатой; на отдельных участках выявлено хрупкое разрушение кронштейнов).

Причинами разрушения отдельных участков покрытия и повреждения покрытия в целом явились:

– применение для покрытия кровельного материала из луженой жести, что не соответствует проектному решению. Применение кровельного материала из луженой жести, его ускоренная (щелевая) коррозия (что подтверждено результатами химического анализа покрытия), привели к замачиванию и переувлажнению элементов всего покрытия и созданию дополнительной нагрузки;

– ускоренная коррозия кронштейнов (металлических деталей МД), крепящих балки покрытия к полуаркам, что привело к истончению стенок кронштейнов и потере ими несущей способности;



Рисунок 9.13 – Фрагмент балки покрытия и разрушенного коррозией участка обвязки



Рисунок 9.14 – Фрагмент подшивки:



переувлажнение подшивки и развитие гниения на отдельных участках

– коррозия, в т. ч. пластинчатая различной степени интенсивности элементов крепления прогонов;

– значительная снеговая нагрузка (на момент обследования толщина снегового покрова составляла 150–200 мм при плотности не менее 0,7 г/см<sup>3</sup>).

Таким образом, причиной аварии явились нарушения требований строительной и эксплуатационной нормативной документации.

При выполнении покрытия была произведена замена проектного материала на иной, без учета особенностей его работы в атмосферной среде. В эксплуатационный период под воздействием атмосферного увлажнения в кровельном материале развились интенсивные коррозионные процессы, приведшие к разрушению кровельного покрытия, замачиванию, а с течением времени и переувлажнению утеплителя, деревянных и стальных элементов покрытия. Отсутствие надзора за состоянием конструкций способствовало развитию пластинчатой коррозии элементов крепления, загниванию деревянных конструкций, что с учетом дополнительного веса переувлажненного утеплителя и значительной снеговой нагрузки привело к разрушению обвязки, стальных кронштейнов, обрушению прогонов и подшивки на отдельных участках.

### **9.3 Обрушение части здания гостиницы**

3 мая 2006 года около 2 часов ночи произошла просадка внутренней несущей стены, вызвавшая ее частичное разрушение и смещение плит перекрытий относительно вертикальной оси.

Здание – двухэтажное, с техническим подпольем, построено в 1972 году.

Тип здания – бескаркасный.

Фундаменты – ленточные. Стены выполнены из кирпича керамического полнотелого с облицовкой кирпичом силикатным. Междуетажные и чердачное перекрытия – железобетонные плиты пустотного настила типа ПК. Крыша – четырехскатная, по деревянным стропильным ногам. Кровля – асбестоцементные листы по деревянной обрешетке.

Фрагмент общего вида здания гостиницы представлен на рисунке 9.15.



Рисунок 9.15 – Фрагмент главного фасада здания:  
обрушение участка крыши и отдельных конструкций

План здания с выделенным участком обрушения представлен на рисунке 9.16.

Фрагменты конструкций на участке обрушения представлены на рисунках 9.17–9.24.

В момент аварии произошла просадка внутренней поперечной несущей стены в осях А-А/2-4 в уровне технического подполья, первого и второго этажей и, как следствие, ее частичное разрушение, смещение и деформации плит перекрытий в осях А-А/2-3-5.

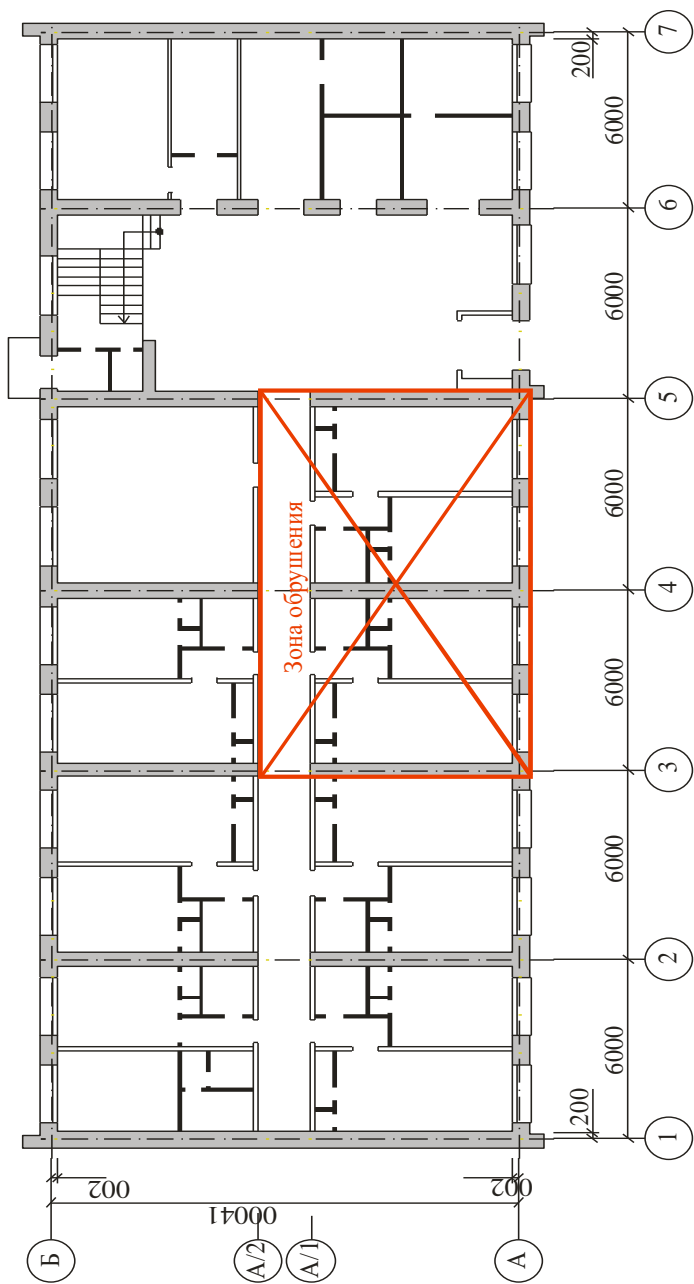


Рисунок 9.16 – План здания в уровне 1-го этажа



Рисунок 9.17 – Общий вид участка обрушения:  
обрушение и полное разрушение участков конструкций перекрытий и крыши, стен



Рисунок 9.18 – Общий вид участка обрушения:  
разрушение поперечных стен, просадка фундаментов и плит перекрытия  
технического подполья



Рисунок 9.19 – Общий вид участка обрушения:  
излом и полное разрушение отдельного участка плиты



Рисунок 9.20 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:  
отрыв и смещение кирпичного столба с плитой перекрытия; излом плиты на опоре





Рисунок 9.21 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья: разрушение участка кладки; недостаточное опирание плиты перекрытия и ее смещение с поворотом



Рисунок 9.22 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья: обрушение кладки; смещение плит перекрытия; выпадение отдельной плиты



Рисунок 9.23 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:  
некачественная перевязка рядов кладки; отсутствие раствора на глубину до 80 мм;  
смещение плиты перекрытия



Рисунок 9.24 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:  
смещение плит; излом и разрушение участка плиты перекрытия

Характер выявленных в результате общего обследования повреждений конструкций указывал на то, что первоначальные деформации, приведшие к повреждению конструкций первого и второго этажей, произошли в техническом подполье.

В результате обследования выявлены многочисленные значительные и критические дефекты и повреждения стен подвальной части, первого и второго этажей, перекрытий.

Установлено:

- на отдельных участках вдоль внутренних несущих стен выполнены дополнительные подпорные стенки из кирпича силикатного утолщенного, столбы (из кирпича керамического полнотелого) переменного сеч. (250÷370)×380 мм, деревянные столбы Ø180÷220 мм (рисунок 9.25). Со слов представителя заказчика дополнительные деревянные столбы были установлены в процессе эксплуатации при появлении деформаций стен;

- отсутствие пола в подвальной части здания, наличие большого количества строительного и бытового мусора, а также грунта выше уровня пола;

- наличие конденсата на поверхности конструкций подвальной части здания, обусловленной отсутствием качественной вентиляции помещений;

- неудовлетворительное состояние водоотводящих и водоподводящих систем, расположенных в подвальной части здания [следы коррозии, в т. ч. пластинчатой, на многочисленных участках, протечки, следы многочисленных ремонтов (рисунок 9.26)];

- просадка лестничного марша в осях А/2-Б-5-6, расположенного в уровне пола первого этажа, на величину до 100 мм, обусловленная неравномерными осадками грунта.

Техническое состояние кладки внутренней несущей стены в осях А-А/1-4, внутренней стены по оси 2, отдельных частей внутренних несущих стен на остальных участках в подвальной части – предаварийное (рисунки 9.27 и 9.28), что соответствует V категории технического состояния конструкций согласно СНБ 1.04.01-04.

Состояние внутренних несущих стен подвальной части в целом – неудовлетворительное, что соответствует IV категории технического состояния согласно СНБ 1.04.01-04.

Техническое состояние участка кладки внутренней несущей стены первого и второго этажей в осях А/1-3 – предаварийное, что соответствует V категории технического состояния конструкций согласно СНБ 1.04.01-04.

Техническое состояние плит перекрытия технического подполья в осях А-А/1-3-4 (6-я от оси А), в осях А-А/1-4-5 (6-я от оси А), оставшихся плит перекрытия в осях А-А/2-3-5 – предаварийное, что соответствует V категории технического состояния конструкций согласно СНБ 1.04.01-04.





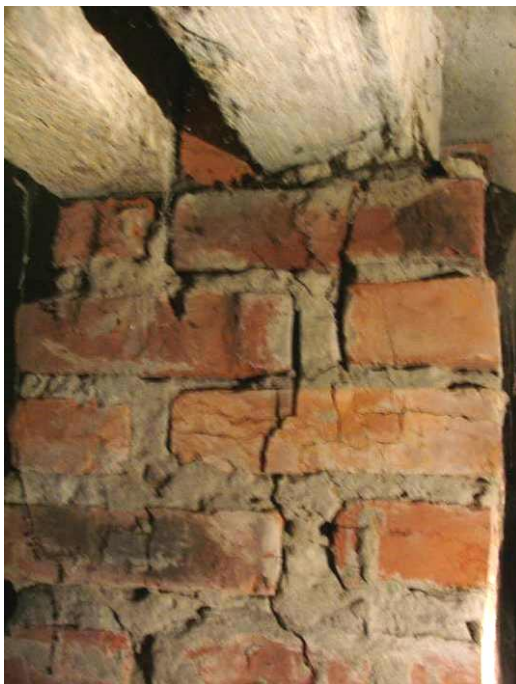
Рисунок 9.25 – Дополнительные столбы из кирпича керамического полнотелого:  
отсутствие анкеровки столбов к стенам



Рисунок 9.26 – Фрагмент конструкций технического подполья:  
отсутствие пола в подвальной части здания, наличие большого количества  
строительного и бытового мусора, грунта выше уровня пола;  
неудовлетворительное состояние водоотводящих систем

Техническое состояние остальных плит перекрытия в осях А-А/1-3-5 в целом – неудовлетворительное, что соответствует IV категории технического состояния согласно СНБ 1.04.01-04.

Рисунок 9.27 –  
Фрагмент участка  
опирания прогонов:  
отсутствие опорных подушек;  
разрушение и расслоение  
кладки под прогонами



Техническое состояние плит перекрытия первого этажа и чердачного перекрытия на участке обрушения – предаварийное, что соответствует V категории технического состояния конструкций согласно СНБ 1.04.01-04.

В процессе детального обследования конструкций технического подполья выявлены деформации кладки оставшихся несущих стен.

Установлено, что данные деформации начались уже давно, о чем свидетельствует выполненное усиление конструкций технического подполья (устройство дополнительных кирпичных стен, кирпичных и деревянных столбов). На их развитие на момент обследования указывают выявленные значительные вертикальные трещины по кладке внутренней несущей стены в осях А-А/2-2, что может повлечь за собой возникновение аналогичной аварийной ситуации и обрушение конструкций на участке в осях А-А/2-1-3.

Причинами возникновения аварийной ситуации явились:

– крайне низкая марка кирпича керамического полнотелого и кладочного раствора на сжатие (прочность образцов кирпича

керамического полнотелого на сжатие составила  $2,53 \div 3,95$  МПа, что значительно ниже минимальной допустимой марки по прочности на сжатие, равной М75 ( $R = 7,5$  МПа) согласно СТБ 1160-99; прочность образцов кладочного раствора на сжатие составила  $2,61 \div 3,10$  МПа, что соответствует марке по прочности на сжатие, равной М25 согласно СТБ 1307-2002);

– применение фундаментных стеновых блоков нестандартных габаритных размеров;



Рисунок 9.28 – Фрагмент участка опирания прогонов: отсутствие опорных подушек; разрушение и расслоение кладки под прогонами; смещение прогона

– низкое качество строительных (в т. ч. кладочных) работ при возведении стен технического подполья здания;

– недостаточное опирание плит перекрытия технического подполья (ширина опирания большинства плит составила 50–100 мм), что обусловило дополнительное давление на кладку внутренней несущей стены по оси 4;

– неудовлетворительное техническое состояние водоотводящих и водоподводящих коммуникаций (постоянные протечки и, как следствие, увлажнение конструкций технического подполья).

Вышеуказанные факторы, действуя в совокупности, привели:

– к срезу кладки из кирпича керамического полнотелого внутренней несущей стены по оси 4 (по краям стены),

– смещению края плит перекрытия технического подполья по оси 4;

- возникновению критического давления на кирпичную кладку стены по оси 4 (под действием веса вышележащих конструкций);
- последующему дальнейшему смятию и разрушению кирпичной кладки внутренней несущей стены по оси 4;
- обрушению конструкций первого и второго этажей с опорой на стену по оси 4.

Таким образом, основными причинами возникновения и развития аварийной ситуации явились возведение и монтаж конструкций с грубейшими нарушениями требований проектной и нормативной документации, некачественная эксплуатация здания.

#### **9.4 Обрушение участка покрытия жилого дома**

2 февраля 2006 года произошло обрушение конструкций покрытия (разрушение кирпичного столба, обрушение двух прогонов и 5 плит покрытия) девятиэтажного жилого дома.

Покрытие технического этажа выполнено из ребристых плит размерами 1,5×6,0 м, уложенных на железобетонные прогоны прямоугольного сеч. 250×220 мм и железобетонные прогоны таврового сечения (пристенные) шириной нижней полки 380 мм.

Прогоны опираются на столбы сеч. 380×510 мм, выполненные из кирпича керамического полнотелого, которые в свою очередь опираются на центральную несущую стену. Кирпичные столбы выполнены без армирования.

Фрагмент конструкций на участке обрушения представлен на рисунке 9.29.



Рисунок 9.29 – Фрагмент обрушившегося участка покрытия:  
разрушение кирпичного столба; обрушение прогона и двух плит покрытия

В результате обследования конструкций технического этажа на данном и остальных участках выявлены многочисленные дефекты и повреждения несущих конструкций технического этажа, кладки стен и столбов, обусловленные низким качеством как материалов, так и производства кладочных работ (рисунки 9.30–9.32).



Рисунок 9.30 – Фрагмент обрушившегося участка покрытия:  
обрушение прогона, двух плит покрытия; обрушение и полное разрушение плиты покрытия



Рисунок 9.31 – Фрагмент обрушившегося участка:



разрушение опорной зоны плит покрытия (излом продольного ребра), следы ремонта плит в процессе эксплуатации (заделка трещин раствором)



Рисунок 9.32 – Фрагмент стены:

нарушение горизонтальности рядов («волны») на величину до 10 мм; отклонение кирпичей от горизонтали на величину до 15 мм; применение боя кирпичей (до 5 %) незаполнение вертикальных и горизонтальных швов кладочным раствором на глубину до 30 мм на отдельных участках; толщина вертикальных швов – до 20 мм, горизонтальных – до 40 мм на многочисленных участках

Опорные подушки на многочисленных участках выполнены из боя силикатного кирпича, что при увлажнении и размораживании создает опасность возникновения аварийной ситуации, аналогичной произошедшей.

Результаты физико-химического анализа образцов бетона прогонов свидетельствуют:

– 60 % образцов – об ускоренной деградации бетона и возможности развития в данных условиях интенсивной коррозии арматуры, в т. ч. пластинчатой;

– 40 % образцов – о полной деградации бетона (потере им защитных свойств по отношению к арматуре, потере сцепления цементного камня с заполнителем), возможности развития в данных условиях ускоренных коррозионных процессов в арматуре.

Результаты физико-химического анализа образцов бетона плит покрытия показали, что 29 % образцов подверглись ускоренной деградации бетона и интенсивной коррозии арматуры, в т. ч. пластинчатой, а 71 % образцов свидетельствуют о полной деградации бетона (потере им защитных свойств по отношению к арматуре, потере сцепления цементного камня с заполнителем, ускоренных процессах коррозии арматуры, в т. ч. пластинчатой).

Техническое состояние наружных и внутренних стен, а также кирпичных столбов, с учетом выявленных дефектов и повреждений, результатов испытаний образцов кирпича и раствора (результаты испытания образцов кирпича на прочность показали, что прочность образцов кирпича на сжатие составила  $R = 2,36...3,70$  МПа, что значительно ниже минимальной допустимой марки по прочности на сжатие, равной М75 (что соответствует  $R = 7,5$  МПа), согласно СТБ 1160-99, а испытания образцов кладочного раствора на прочность, – что прочность образцов раствора на сжатие –  $R=5,27... 6,30$  МПа, что соответствует марке раствора по прочности на сжатие М50 согласно СТБ 1307-2002) в целом – неудовлетворительное, что соответствует IV категории технического состояния согласно СНБ 1.04.01-04.

Техническое состояние прогонов, с учетом выявленных дефектов и повреждений, а также результатов физико-химического анализа, в целом – неудовлетворительное, что соответствует IV категории технического состояния согласно СНБ 1.04.01-04, а отдельных элементов – предаварийное, что соответствует V категории технического состояния согласно СНБ 1.04.01-04.

Техническое состояние плит покрытия, с учетом выявленных дефектов и повреждений, а также результатов физико-химического анализа, в целом – неудовлетворительное, что соответствует IV категории технического состояния согласно СНБ 1.04.01-04.

Причиной обрушения конструкций явился ряд факторов:

- низкая прочность на сжатие кирпича и раствора кладки;
- отсутствие армирования кладки кирпичных столбов;
- выполнение опорных подушек под прогоны из боя силикатного кирпича;
- увлажнение опорной подушки с последующим действием отрицательных температур, приведшее к быстрому размораживанию и разрушению материала;
- недостаточное опирание плит покрытия (ширина опирания плит 50–100 мм);
- неравномерная загрузка плит покрытия по объему и весу (толщина стяжки по утеплителю на отдельных участках достигает 150 мм), что в итоге привело к смещению прогона, разрушению кирпичного столба, выходу плит покрытия из проектного положения и их обрушению.

Таким образом, основной причиной возникновения и развития аварийной ситуации явилось возведение и монтаж конструкций с грубейшими нарушениями требований проектной и нормативной документации.

### **9.5 Обрушение балконной плиты**

27 мая 2007 года произошло обрушение балконной плиты квартиры, расположенной на третьем этаже жилого дома.

Жилой дом – пятиэтажный, кирпичный; построен в 1965 году.

Балконные плиты – заводского изготовления, консольного типа с жестким защемлением опорной балки в несущие наружные стены.

Фрагмент главного фасада здания на участке обрушения балконной плиты представлен на рисунке 9.33.



Рисунок 9.33 – Фрагмент обрушившегося участка

В результате обследования обрушившейся балконной плиты установлено следующее:

– плита армирована арматурными сетками из стержней  $\varnothing 6-7$  мм. Сечение балконной плиты с указанием ее армирования (изначально) представлено на рисунке 9.34;

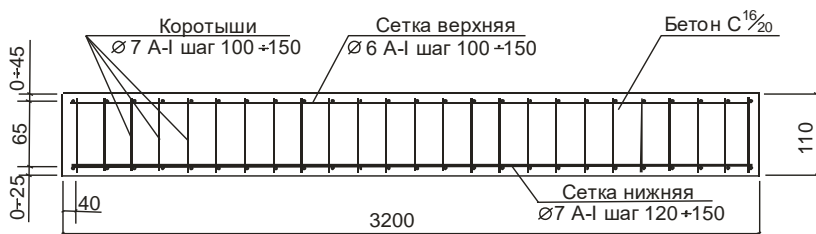


Рисунок 9.34 – Сечение балконной плиты

– измеренная неразрушающим методом прочность бетона составляет 26,4–26,9 МПа;



– пластинчатая коррозия различной интенсивности (от низкой до высокой) арматурных стержней арматурных сеток, коротышей, анкеров. На участках пластинчатой коррозии низкой интенсивности измеренный остаточный диаметр продольных и поперечных арматурных стержней верхней сетки составляет 4,8–5,1, нижней – 5,8–6,2 мм. На участках пластинчатой коррозии высокой интенсивности измеренный остаточный диаметр продольных и поперечных арматурных стержней верхней сетки составляет 1,8–2,6, нижней – 3,4–4,5 мм. На многочисленных участках арматурные стержни сеток разрушены полностью. Измеренный остаточный диаметр коротышей составляет 3,8–4,9 мм. С левой стороны плиты в средней ее части нижняя арматурная сетка не выявлена (произошло ее полное разрушение). На участке стыка опорной балки и тела балконной плиты арматурные стержни разрушены полностью;

– пластинчатая коррозия высокой интенсивности арматурных стержней опорной балки. Измеренный остаточный диаметр продольных стержней составляет 3,5–12,4, поперечных – 3,6–4,0, коротышей – 5,1–5,3 мм;

– участки арматурных стержней, подвергшиеся пластинчатой коррозии низкой интенсивности, разрушаются при минимальном механическом воздействии (проявляется хрупкий излом);

– коротыши на участке стыка опорной балки и тела балконной плиты на многочисленных участках приварены под углом до 15°;

– толщина защитного слоя нижней арматурной сетки составляет от 0 до 20 мм (сетка уложена волнообразно). Толщина защитного слоя верхней сетки составляет от 0 до 45 мм (сетка уложена с выгибом вверх в средней части плиты).

Фрагменты обрушившейся балконной плиты представлены на рисунках 9.35–9.38.



Рисунок 9.35 – Фрагмент опорной балки балконной плиты:  
пластинчатая коррозия стержней; непроектное положение коротышей



Рисунок 9.36 – Фрагмент балконной плиты:  
нарушение сцепления цементного камня с крупным заполнителем;  
полное разрушение и расслаивание бетона;  
пластинчатая коррозия арматурных стержней



Рисунок 9.37 – Фрагмент балконной плиты:  
полное разрушение арматурных стержней коррозией



Рисунок 9.38 – Фрагмент балконной плиты:  
пластинчатая коррозия высокой интенсивности арматурных стержней  
на участке стыка тела балконной плиты с опорной балкой

Выявлены следующие дефекты и повреждения бетона тела плиты:

- размораживание многочисленных участков плиты со стороны левого бокового торца на глубину до 20 мм;
- расслаивание бетона многочисленных участков плиты со стороны левого бокового торца, вызванное интенсивным размораживанием бетона, приведшее к отделению крупного заполнителя от растворной части бетона и, как следствие, вызвавшее полную потерю прочности бетона на данном участке;
- выкрашивание цементного камня нижней поверхности плиты повсеместно на глубину до 3,0 мм;
- некачественное перемешивание бетонной смеси при изготовлении балконной плиты (скопление крупного заполнителя на отдельных участках и практически его полное отсутствие на других);
- следы коррозии арматуры (следы ржавчины) по нижней поверхности балконной плиты;
- продольные трещины по боковой поверхности опорной балки (со стороны улицы), шириной раскрытия до 0,3 мм, на отдельных участках переходящие в наклонные.

Результаты физико-химического анализа образцов бетона на участках развития интенсивных процессов пластинчатой коррозии арматуры указывают на интенсивную деградацию бетона и развитие пластинчатой коррозии арматуры различной интенсивности в условиях переменной влажности; на отдельных участках – полную деградацию бетона и потерю сцепления цементного камня с заполнителем. Состояние бетона и арматуры – неудовлетворительное.

В качестве крупного заполнителя при изготовлении плиты применен доломит.

Причинами обрушения балконной плиты явились:

- длительное воздействие атмосферной влаги на конструкцию, вызвавшее в конечном итоге значительные и критические повреждения бетона и арматуры плиты;
- невыполнение своевременного ремонта и восстановления плиты, вызванное отсутствием либо недостаточным слежением за ее состоянием;
- нарушение технологии изготовления плиты;
- некачественное изготовление сварного каркаса;
- непроектное расположение сварного каркаса, несоблюдение необходимой толщины защитного слоя бетона;
- применение карбонатных добавок, вызвавших ускоренную карбонизацию бетона и, как следствие, потерю им защитных свойств по отношению к арматуре;

Таким образом, основной причиной возникновения и развития аварийной ситуации явилось изготовление железобетонного элемента с

нарушениями требований проектной документации, некачественная эксплуатация жилого дома.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

- 1 **Алексеев, С. Н.** Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1976. – 205 с.
- 2 **Альбрехт, Р.** Дефекты и повреждения строительных конструкций / Р. Альбрехт. – М. : Стройиздат, 1979. – 139 с.
- 3 Альбом пороков древесины / А. Т. Вакин [и др.] ; под ред. С. Н. Горошина. – М. : Лесная промышленность, 1969. – 164 с.
- 4 **Ануфриев, Н. М.** Исправление дефектов изготовления и монтажа сборных железобетонных конструкций промышленных зданий / Н. М. Ануфриев. – М. : Изд-во лит. по стр-ву, 1971. – 130 с.
- 5 **Армановский, Л. И.** Архитектурные конструкции гражданских зданий / Л. И. Армановский, В. С. Волга. – Киев : Будивельник, 1988. – 240 с.
- 6 **Бабко, А. К.** Количественный анализ / А. К. Бабко, И. В. Пятницкий. – М. : Высшая школа, 1968. – С. 437–438.
- 7 **Бабушкин, В. И.** Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян ; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – 4-е изд. – М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.
- 8 **Бадьин, Г. М.** Справочник строителя-ремонтника / Г. М. Бадьин, В. А. Заренков, В. К. Иноземцев. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 496 с.
- 9 **Бедов, А. И.** Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений : учеб. пособие / А. И. Бедов, В. Ф. Сапрыкин. – М. : Изд-во АСВ, 1995. – 192 с.
- 10 **Буга, П. Г.** Гражданские, промышленные и сельскохозяйственные здания / П. Г. Буга. – М. : Высшая школа, 1987. – 351 с.
- 11 Биоповреждения в строительстве / Ф. М. Иванов [и др.]. – М. , 1984. – 320 с.
- 12 **Богомолов, Б. Д.** Химия древесины / Б. Д. Богомолов. – М. : Экология, 1973. – 224 с.
- 13 **Бойко, М. Д.** Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / М. Д. Бойко. – Л. : Стройиздат, 1975. – 336 с.
- 14 **Бартелими, Б.** Огнестойкость строительных конструкций / Б. Бартелими, Ж. Крюппа / пер. с фр. М. В. Предтеченского ; под ред. В. В. Жукова. – М. : Стройиздат, 1985. – 216 с.
- 15 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, на основе методов pH- и карбометрии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2006. – № 4 (7). – С. 81–88.

16 **Васильев, А. А.** Модель карбонизации бетона по сечению конструкций / А. А. Васильев, Д. Н. Шевченко, А. В. Ханеев // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп.; редкол.:

В. И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2008. – С. 259–260.

17 **Васильев, А. А.** Исследование кинетики и механизма карбонизации поровой влаги бетона в реальных условиях / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2007. – № 6 (15). – С. 39–44.

18 **Васильев, А. А.** Оценка физического износа жилых, общественных и промышленных зданий : практ. пособие / А. А. Васильев, С. В. Дзирко, К. Н. Пироговский ; под общ. ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 207 с.

19 **Васильев, А. А.** Опыт использования рН- и карбометрии для оценки состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций / А. А. Васильев // Научно-технические проблемы современного железобетона : материалы Всеукраинской науч.-техн. конф. / редкол.: П. И. Кривошеев [и др.]. – Сумы, 2005. – Т. 2. – С. 110–117.

20 **Васильев, А. А.** Трещины в железобетонных элементах зданий и сооружений : учеб.-метод. пособие по дисциплине «Диагностика технического состояния зданий и сооружений» / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 27 с.

21 **Васильев, А. А.** Оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций различными методами / А. А. Васильев, С. В. Дзирко, О. Г. Канарская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2005. – № 1 (10). – С. 35–37.

22 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.

23 **Гуськов, И. М.** Эксплуатация деревянных конструкций и методы устранения их дефектов : учеб. пособие / И. М. Гуськов. – М. : МИСИ, 1982. – 106 с.

24 **Гучкин, И. С.** Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций / И. С. Гучкин. – М. : Изд-во АСВ, 2001. – 176 с.

25 **Далматов, Б. И.** Механика грунтов, основания, и фундаменты / Б. И. Далматов. – Л. : Стройиздат, 1988. – 213 с.

26 Деревянные конструкции и детали : справ. строителя / В. М. Хрулев [и др.] ; под ред. В. М. Хрулева. – М. : Стройиздат, 1983. – 220 с.

27 Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.

28 **Землянский, А. А.** Обследование и испытание зданий и сооружений / А. А. Землянский. – М. : Изд-во АСВ, 2001. – 240 с.

- 29 **Ильин, И. А.** Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции / И. А. Ильин. – М. : 1979. – 168 с.
- 30 **Калинин, А. А.** Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений / А. А. Калинин. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 160 с.
- 31 **Калинин, В. М.** Оценка технического состояния зданий / В. М. Калинин, С. Д. Сокова. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 268 с.
- 32 **Калинин, В. М.** Обследование и испытание конструкций зданий и сооружений / В. М. Калинин, С. Д. Сокова, А. Н. Топилин. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 336 с.
- 33 **Каневская, И. Г.** Биологическое повреждение строительных материалов / И. Г. Каневская. – Л., 1984. – 232 с.
- 34 Комплексная оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций : практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 31 с.
- 35 **Корецкая, Л. С.** Атмосферостойкость полимерных материалов / Л. С. Корецкая. – Мн. : 1993. – 135 с.
- 36 Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 533 с.
- 37 Коррозия конструкционных материалов : в 2 кн. / В. В. Батраков [и др.]. – М. : 1990. – 320 с.
- 38 Конструкции из дерева и пластмасс. Примеры расчета и конструирования. – Киев : Будивельник, 1970. – 236 с.
- 39 **Кудрявцев, И. А.** Диагностика, эксплуатация и ремонт зданий и сооружений : пособие по спец. «Технический надзор» : в 2 ч. / И. А. Кудрявцев, М. В. Беспалова, А. А. Васильев ; под ред. И. А. Кудрявцева ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2003. – Ч. I. – 265 с.; Ч. II. – 228 с.
- 40 **Курбатова, И. И.** Современные методы химического анализа строительных материалов / И. И. Курбатова. – М. : Стройиздат, 1972. – 189 с.
- 41 **Леденев, В. В.** Предупреждение аварий : учеб. пособие / В. В. Леденев, В. И. Скрылев. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 240 с.
- 42 **Леденев, В. И.** Физико-технические основы эксплуатации кирпичных стен : учеб. пособие / В. И. Леденев, И. В. Матвеева, П. В. Монастырев. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 160 с.
- 43 **Неверов, А. С.** Коррозия и защита материалов : учеб. пособие / А. С. Неверов, Д. А. Родченко, М. И. Цырлин. – Мн. : Выш. шк., 2007. – 222 с.
- 44 **Неелов, В. А.** Гражданские здания / В. А. Неелов. – М. : Стройиздат, 1974. – 174 с.
- 45 Обследование и испытание сооружений : учеб. для вузов / О. В. Лужин [и др.] ; под ред. О. В. Лужина. – М. : Стройиздат, 1987. – 263 с.
- 46 **Отрешко, А. Н.** Справочник проектировщика. Деревянные конструкции / А. Н. Отрешко. – М. : Госстройиздат, 1957. – 450 с.
- 47 **Панюков, Э. Ф.** Восстановление зданий и сооружений, поврежденных пожаром / Э. Ф. Панюков. – Киев : УПК ВО, 1989. – 123 с.
- 48 **Порывай, Г. А.** Предупреждение преждевременного износа зданий / Г. А. Порывай. – М. : Стройиздат, 1979. – 284 с.



- 49 Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80). – М. : Стройиздат, 1981. – 120 с.
- 50 Пособие П1-98 к СНиП 2.03.01-84. Усиление железобетонных конструкций. – Мн. : Минстрой, 1998. – 152 с.
- 51 Предотвращение повреждений в жилищном строительстве : в 2 т. / Е. Шильд [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 192 с.
- 52 Предупреждение деформаций и аварий зданий и сооружений / В. А. Лисенко [и др.] ; под ред. В. А. Лисенко. – Киев : Будивельник, 1984. – 120 с.
- 53 Проблемы сохранения жилой и производственной инфраструктуры городов от биоразрушения / В. А. Крыленков [и др.] // Инфстрой. – 2003. – № 5. – С. 3–13.
- 54 **Рибицки, Р.** Повреждения и дефекты строительных конструкций / Р. Рибицки. – М. : Стройиздат, 1982. – 432 с.
- 55 **Ройтман, А. Г.** Деформации и повреждения зданий / А. Г. Ройтман. – М. : Стройиздат, 1987. – 160 с.
- 56 **Руфферт, Г.** Дефекты бетонных конструкций / Г. Руфферт. – М. : Стройиздат, 1987. – 112 с.
- 57 **Сморчков, А. А.** Обследование строительных конструкций зданий и сооружений : учеб. пособие / А. А. Сморчков. – Курск : Курск. гос. ун-т, 2003. – 87 с.
- 58 **ТКП 45-1.04-208-2010 (02250).** Здания и сооружения. Техническое состояние и обслуживание строительных конструкций и инженерных систем и оценка их пригодности к эксплуатации. – Введ. 2010-07-15. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2011. – 23 с.
- 59 **ТКП 45-1.04-37-2008 (02250).** Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения. – Введ. 2008-12-29. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2009. – 39 с.
- 60 **ТКП 45-2.01-111-2008 (02250).** Защита строительных конструкций от коррозии. Строительные нормы проектирования. – Введ. 2009-01-01. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2009. – 86 с.
- 61 Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений : справ. пособие / М. Д. Бойко [и др.] ; под ред. М. Д. Бойко. – М. : Стройиздат, 1993. – 208 с.
- 62 **Ушаков, И. И.** Основы диагностики строительных конструкций : учеб. пособие / И. И. Ушаков, Б. А. Бондарев. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 204 с.
- 63 **Физдель, И. А.** Дефекты и методы их устранения в конструкциях и сооружениях / И. А. Физдель. – М. : Стройиздат, 1970. – 175 с.
- 64 **Шкинев, А. Н.** Аварии на строительных объектах, их причины и способы предупреждения и ликвидации / А. Н. Шкинев. – М. : Стройиздат, 1962. – 219 с.
- 65 Элементы зданий и сооружений : пособие по специальности "Технический надзор" / И. А. Кудрявцев [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 256 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ДЕФЕКТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ .....	6
2 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ, МОНТАЖА И ВОЗВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ .....	9
2.1 Земляные работы .....	9
2.2 Фундаменты .....	10
2.3 Каменные работы .....	14
2.4 Железобетонные конструкции .....	18
2.4.1 Стеновые панели крупнопанельных зданий .....	23
2.4.2 Стыки и швы .....	27
2.4.3 Колонны .....	28
2.4.4 Балки (ригели) .....	32
2.4.5 Фермы .....	36
2.4.6 Плиты перекрытий и покрытий .....	36
2.4.7 Монолитные железобетонные конструкции .....	38
2.4.8 Лестничные марши и площадки .....	40
2.4.9 Стальные конструкции .....	41
2.4.10 Деревянные конструкции .....	43
2.4.11 Полы .....	45
2.4.12 Перегородки .....	51
2.4.13 Кровли из рулонных материалов .....	51
2.4.14 Сварные конструкции .....	56
2.4.15 Соединения на болтах без контролируемого натяжения .....	58
2.4.16 Заклепочные соединения .....	58
3 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ ВОЗВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ..	60
3.1 Крупнопанельные жилые здания серий 464, 90 и других типовых проектов с внутренними несущими и наружными самонесущими стенами, сплошными панелями перекрытий. Общественные крупнопанельные здания серии 1.090 .....	60
3.1.1 Сборные железобетонные конструкции .....	60
3.1.2 Наружные и внутренние стеновые панели .....	60
3.1.3 Панели перекрытий и покрытий .....	61
3.1.4 Вентиляционные блоки .....	61
3.1.5 Санитарно-технические кабины .....	61
3.1.6 Гипсобетонные перегородки .....	61

3.1.7 Лестничные марши и площадки.....	61
3.1.8 Блоки шахт лифтов.....	62
3.1.9 Сборка и сварка монтажных соединений железобетонных конструкций.....	62
3.1.10 Антикоррозионное покрытие закладных и соединительных деталей.....	62
3.1.11 Замоноличивание стыков и швов.....	62
3.1.12 Водо-, воздухо- и теплоизоляция стыков наружных стен.....	63
3.2 Жилые и общественные здания из каменных конструкций различных проектов.....	63
3.2.1 Каменная кладка стен, столбов и перегородок.....	63
3.3 Здания жилищно-гражданского назначения.....	64
3.3.1 Установка оконных, балконных и дверных блоков.....	64
3.3.2 Устройство кровель из рулонных материалов.....	64
3.3.3 Устройство клеенной гидроизоляции под полы.....	65
3.4 Объекты производственного назначения.....	65
3.4.1 Одноэтажные здания со стальным каркасом.....	65
3.4.2 Многоэтажные здания со стальным каркасом.....	71
3.4.3 Одноэтажные здания с каркасом из железобетонных конструкций.....	73
3.4.4 Многоэтажные здания с каркасом из сборных железобетонных конструкций по сериям 1.420-12, 1.420-6 и ИК-20/70.....	74
3.4.5 Многоэтажные здания с каркасом из сборных железобетонных конструкций по серии 1.020-1/83 межвидового применения.....	76
3.4.6 Конструкции покрытий производственных зданий пролетами 18, 24 и 30 м с применением замкнутых гнутосварных профилей прямоугольного сечения типа «Молодечно» по серии 1.460. 3-14.....	79
3.4.7 Наружные стеновые ограждения.....	80
4 ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.....	83
4.1 Анализ повреждений.....	85
5 ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ПО ВИДАМ МАТЕРИАЛОВ.....	87
5.1 Воздействие на конструкции повышенных температур и огня.....	87
5.2 Воздействие пожара на отдельные виды конструкций.....	91
5.2.1 Бетонные и железобетонные конструкции.....	91
5.2.2 Каменные и кирпичные конструкции.....	96
5.2.3 Стальные конструкции.....	98
5.2.4 Деревянные конструкции.....	99
5.3 Воздействие отрицательных температур на основания и конструкции зданий.....	101
5.4 Увлажнение конструкций.....	107
5.5 Воздействие грунтовой воды.....	114
5.6 Коррозия материалов конструкций.....	117
5.6.1 Каменные конструкции.....	121

5.6.2	Металлические конструкции .....	129
5.6.3	Железобетонные конструкции .....	162
5.6.4	Деревянные конструкции.....	194
5.6.5	Полимерные конструкции.....	197
5.7	Повреждения бетона при воздействии нефтепродуктов.....	206
6	ТРЕЩИНЫ В КОНСТРУКЦИЯХ .....	210
6.1	Железобетонные элементы.....	210
6.1.1	Механизмы разрушения структуры бетона.....	211
6.1.2	Основные причины появления трещин .....	212
6.1.3	Основные характерные трещины в железобетонных элементах.....	213
6.1.4	Трещины в балках с обычным армированием.....	215
6.1.5	Трещины в предварительно напряженных балках.....	216
6.1.6	Трещины в сжатых элементах .....	217
6.1.7	Трещины в стропильных фермах .....	219
6.1.8	Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий.....	221
6.1.9	Трещины в железобетонных элементах, вызванные огневым воздействием .....	224
6.2	Каменные (кирпичные) конструкции.....	227
6.2.1	Основные причины появления трещин .....	227
6.2.2	Стадии трещинообразования каменных кладок при сжатии .....	227
6.2.3	Трещины в кирпичных внецентренно сжатых колоннах.....	228
6.2.4	Трещины в кирпичных стенах .....	229
7	БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ .....	236
7.1	Металлы и металлоконструкции .....	245
7.1.1	Биокоррозия под действием бактерий .....	245
7.1.2	Биокоррозия под действием микроскопических грибов .....	247
7.2	Минеральные материалы .....	248
7.3	Природные каменные материалы .....	254
7.4	Полимерные материалы .....	256
7.5	Лакокрасочные материалы .....	257
7.6	Ковровые материалы .....	257
7.7	Древесина .....	258
7.7.1	Дереворазрушающие грибы .....	260
7.7.2	Дереворазрушающие насекомые .....	279
7.8	Биокоррозия и человек .....	287
7.8.1	Виды влияния биоповреждений зданий на человека .....	287
7.8.2	Микроскопические грибы – возбудители микозов и микогенной аллергии .....	289
7.8.3	Группы микотических болезней .....	293
7.8.4	Признаки влияния на человека биоповреждений зданий .....	295
8	ХАРАКТЕРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	297
8.1	Фундаменты .....	297
8.2	Ограждающие конструкции и стены .....	298
8.3	Перегородки .....	303

8.4 Колонны .....	304
8.5 Перекрытия (покрытия) .....	305
8.6 Подкрановые конструкции .....	308
8.7 Стропильные конструкции покрытий .....	310
8.8 Лестницы .....	313
8.9 Окна, двери, ворота, фонари .....	314
8.10 Полы .....	316
8.11 Кровли .....	320
9 ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ – ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ	
АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ .....	325
9.1 Обрушение плит покрытия формовочного цеха .....	325
9.2 Обрушение участка покрытия крытого рынка .....	329
9.3 Обрушение части здания гостиницы .....	335
9.4 Обрушение участка покрытия жилого дома .....	345
9.5 Обрушение балконной плиты .....	348
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	354
ПРИЛОЖЕНИЯ (на оптическом диске)	
А Примеры характерных дефектов конструкций.....	3
Б Примеры характерных повреждений конструкций.....	61
В Характерные примеры развития дефектов.....	151

Учебное издание

*ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич*

**ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

С приложениями на оптическом диске

Учебное пособие

Редактор И. И. Эвентов

Технический редактор В. Н. Кучерова

Корректор Т. А. Пугач

Компьютерный набор и верстка – А. В. Рычков, А. А. Васильев

Подписано в печать 16.02.2012 г. Формат бумаги 60×84<sup>1/16</sup>.

Бумага офсетная. Гарнитура Arial. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 21,16. Уч.-изд. л. 24,65. Тираж 550 экз. Зак. № 517. Изд. № 20.

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский государственный университет транспорта:

ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.

ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.

246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.