

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ
РУКОВОДИТЕЛЕЙ И СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

КАФЕДРА «АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО»

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
«ДИАГНОСТИКА, ИСПЫТАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ» им. профессора И. А. Кудрявцева

А. А. ВАСИЛЬЕВ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

(с электронным приложением)

*Утверждено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений
высшего образования по строительным специальностям*

Гомель 2020

УДК 69.059.14(075.8)
ББК 38
В19

Рецензенты: заслуженный деятель науки Республики Беларусь, гл. науч. сотрудник РУП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», д-р техн. наук, профессор *Т. М. Пецольд*; гл. науч. сотрудник РУП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», д-р техн. наук, профессор *В. Г. Казачек*; кафедра строительства и эксплуатации зданий и сооружений филиала Белорусского национального технического университета «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ» (зав. кафедрой канд. техн. наук *Г. С. Родкевич*; канд. техн. наук, доцент *И. И. Неведрович*)

В19 Техническое обследование строительных объектов (с электронным приложением): учеб. / А. А. Васильев; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2020. – 429 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – 18 Мб. – Систем. требования: ПК с процессором Celeron 800 и выше; дисковод CD-ROM; Windows XP.

ISBN 978-985-554-918-6 (отд. изд.)

ISBN 978-985-554-919-3

Рассмотрены характерные дефекты элементов и конструкций зданий и сооружений, а также причины их возникновения. Показаны возможные влияния дефектов и последствия их развития на техническое состояние конструкций зданий и сооружений. Приведены типы обследования, виды выполняемых работ и их особенности, методика оценки технического состояния строительных конструкций.

Предназначен для студентов строительных специальностей и слушателей Института повышения квалификации, может быть использован зрителями зданий, инженерно-техническими работниками жилищно-коммунальных служб, проектных и строительных организаций.

К учебнику прилагается компакт-диск с приложениями в виде графических примеров характерных дефектов элементов и конструкций.

УДК 69.059.14(075.8)
ББК 38

ISBN 978-985-554-918-6 (отд. изд.)
ISBN 978-985-554-919-3

© Васильев А. А., 2020
© Оформление. БелГУТ, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение эксплуатационной надежности и долговечности стро-ящихся зданий и сооружений – основная задача проектных, стро-ительных и эксплуатирующих организаций. Однако с учетом кри-зисных явлений в мировой экономике, из-за которых происходит сокра-щение ин-вестиций в новое строительство, важное значение приобретает продление сроков службы существующих объектов строительства. Оно мо-жет быть осуществлено только на основании качественного выполнения технической диагностики зданий и сооружений, представляющей собой комплекс мероприятий, направленных на определение технического со-стояния конструктивных элементов, их пригодности к дальнейшей экс-плуатации, выявление имеющихся дефектов, повреждений и причин их возникновения.

В нормальных условиях дефекты являются следствием либо недо-статочной квалификации изыскателей, проектировщиков, строителей и работников, осуществляющих технический надзор и принимающих зда-ния в эксплуатацию, либо небрежности этих лиц. Они могут возникнуть также в процессе проектирования и строительства зданий, при осу-ществлении в них производства работ по новой технологии, возведении в малоизученных в строительном отношении районах и в других слож-ных условиях. Скрытые и явные дефекты встречаются во всех типах кон-струкций. Повреждения конструкций являются следствием развития де-фектов под воздействием среды либо некачественной эксплуатации кон-струкций. Дефекты и повреждения могут быть различной степени значи-мости: одни бывают опасными и могут привести к разрушению отдельного элемента или всего сооружения, другие устраняются при проведении ремонта. Встречаются такие, которые весь срок службы здания прихо-дится компенсировать эксплуатационными затратами [например, уси-ленное отопление здания при завышенной плотности (объемной массе) материала наружных стен].

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.

В предлагаемом учебнике сделан упор на виды дефектов и повреждений, их причины и последствия. Он 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. Выполнен анализ причин их возникновения и возможных последствий. Представлены графические примеры дефектов в зависимости от материалов конструкций. Рассмотрены методики оценки степеней значимости и распространения дефектов, технического состояния конструкций. Приведены основные типы обследования конструкций строительных объектов и их особенности.

Автор выражает благодарность заслуженному деятелю науки Республики Беларусь, д-ру техн. наук, главному научному сотруднику РУП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.» Т. М. Пецольду; д-ру техн. наук, профессору, главному научному сотруднику ГП «Институт НИПТИС им. С.С. Атаева» В. Г. Казачеку; канд. техн. наук, заведующему кафедрой строительства и эксплуатации зданий и сооружений филиала БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ» Г. С. Родкевичу; канд. техн. наук, доценту этой же кафедры И. И. Неверовичу за ценные замечания и дополнения, высказанные при рецензировании данного учебника.

1 ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Дефектами называют любые отклонения от установленных требований к исполнению, состоянию здания или его элементов. Все дефекты подразделяют на доэксплуатационные, к которым относятся отклонения формы, качества, размеров от установленных техническими правилами, условиями и нормами, возникшие в процессе изготовления, перевозки или монтажа элементов и конструкций, и эксплуатационные, которые представляют собой 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.

Повреждения – дефекты, образовавшиеся в результате воздействий (климатических, механических, химических и других факторов). Таким образом, повреждения могут возникать как в эксплуатационный, так и в доэксплуатационный периоды.

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

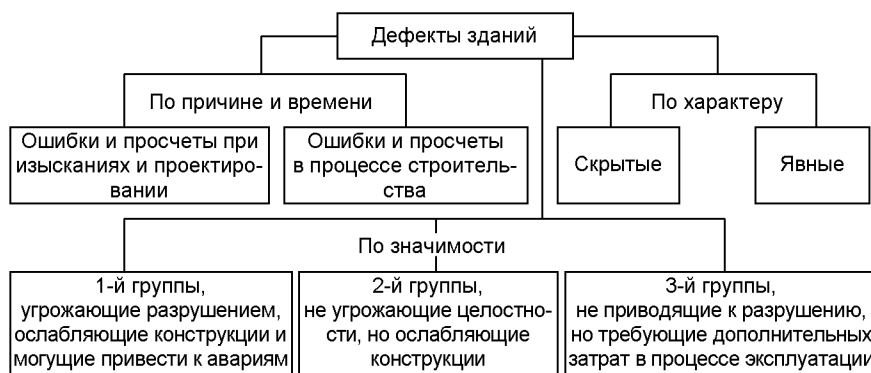


Рисунок 1.1 – Классификация дефектов зданий

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*.

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 технологических режимов изготовления изделий, качества монтажа, соблюдения нормативных требований по содержанию;
- износые, связанные с изменением свойств материалов конструкций во времени.

Отдельно следует учитывать повреждения *чрезвычайного характера*, вызванные стихийными бедствиями.

Классификация причин, вызывающих повреждения, представлена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Классификация причин повреждений зданий в процессе эксплуатации

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 проектирования.

Повреждения от механических воздействий возникают в результате неправильной транспортировки, складирования и монтажа конструкций; подвески к конструкциям тяжелых деталей при ремонте оборудования; нарушения правил технической эксплуатации зданий.

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

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 выделения.

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 (окисление, коррозия, вызванные растворами солей, кислот, щелочей, грунтовой влаги; воздействие электрического тока, биологических процессов).

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

2 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ВОЗВЕДЕНИИ

2.1 Земляные работы

При возведении зданий 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) 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

При изготовлении сборных и монолитных бетонных и железобетонных фундаментов мелкого заложения чаще всего встречаются следующие дефекты:

- 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 изго-

товлении. 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 возникает 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 свай-

ные 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 свай;

- 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-геологическим изысканиям;
- 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. Всё 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, пустотелого 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 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 анкеровки 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 также иметь 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. Всё 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 – 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 применен 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 сколоте кусочке. Причина – 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 бетон отслаивается 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 надежное 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, 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 свежешулоложенного 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 плотно прилегающей ко всей поверхности. Участки, контактирующие с пленкой, будут светлее, чем не контактирующие.

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 поверхности и на ней

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 обратно 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, изменение 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.

Отступления от проектных размеров стеновых панелей, превышающее 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 жест-

ких 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 возникают 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, бетонирования, 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, применение 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 значительнее, чем меньше эксцентриситет приложения усилия и 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 цемента 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 значительным 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 малопрочным 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 рамках 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 их надежную 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 удастся 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 заканчивают 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 окончание 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 свя-

зей 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 проектно 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 заме-

на 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 значительно, 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.

Перекося 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 де-

тали 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 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 многопустотных 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;

– некачественную сварку стыков арматуры;

– применение сильно прокорродированной арматуры;

– несоответствие проектным характеристикам 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 цементно-го 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 создает опасность коррозии стальной 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 прокорродировала 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, приводят 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 ведут 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.

2.5 Стальные конструкции

2.5.1 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 способна 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 местные (в области сварного шва) и общие разрушения 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.

2.5.2 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, вызывающее необходимость установки 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, приводят 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.

2.6 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;
- неправильные соединения 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 образовываться 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 антисептировании) понижает их огнестойкость.

2.7 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 свежесуложенным 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 грунтовоочных составов с пониженным количеством растворителя;
- применение неоднородного грунтовоочного состава, необезвоженого битума или битума с пониженной температурой (менее 90 °С) при приготовлении грунтовок.

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 (клеем), нанесенной вдоль стыков полотнищ.

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 (древеси́ны с влажностью более 18 %).

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

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 мастика 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 досочек вызывают дефекты монтажа (некачественная подгонка досочек вместе по длинной стороне) либо применение узких досочек.

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

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

Большая часть дефектов покрытия линолеумных 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.

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.

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 влагосодержания.

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 (воздухововлекающих и газовыделяющих) добавок. Причиной расслаивания, хотя и относительно неглубокого, могут быть нарушения технологии отделки свежесуложенного 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.

Волосные трещины, часто в виде сетки, как правило, проникают глубоко не более чем на 3 мм и не представляют 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.

2.8 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 некротных мест мелкоштучными материалами к основным конструкциям.

Данные дефекты способствуют появлению и развитию деформаций в перегородках.

2.9 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 откос 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 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 строительных норм 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 заложённой в стене рейке;
- неправильным установлением металлических фартуков.

Стекание 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 вентиляционным блокам 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 происходят 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 отношении капельника (слезника) от вертикальной поверхности.

2.10 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 ≥ 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.

2.11 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.

2.12 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.

2.13 Одноэтажные здания со стальным каркасом

2.13.1 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, ведет 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 происходить в случаях, если в монтажных стыках колонн при приварке накладок не были оставлены неприваренные участки длиной 30 мм с каждой стороны до стыка.

2.13.2 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 могут повлечь снижение прочности опорных узлов и 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 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, это может вызвать снижение прочности стропильных ферм.

2.13.3 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 обоим 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.

2.13.4 Пути подвесного 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, разрывы 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.

2.13.5 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 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 менее 60 мм – на промежуточных, 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 осаждение 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, обеспечение крепления и долговечности настила происходит, если при дуговой точечной сварке допущены прожоги настила и повреждения цинкового покрытия.

2.13.6 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;
- 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.

2.14 Многоэтажные здания со стальным каркасом

2.14.1 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.

2.14.2 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 оголовки 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 привести к снижению прочности опорных узлов и необеспечению 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 образование концентраторов напряжений, с последующим возникновением 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 котло-

ванов, 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.

2.15 Одноэтажные здания с каркасом из железобетонных конструкций

2.15.1 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.

2.15.2 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.

2.15.3 Подкрановые балки

Снижение прочности опорных узлов вызывают:

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

- уменьшение 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.

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

2.16.1 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:

- уменьшение 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°), 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 привести к снижению прочности узлов и разрушению 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 накладки, 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.

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

2.17.1 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;
- отсутствия 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 непроектных 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.

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 обеспечению проектного защемления 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.

Опирающие балки 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 обоям, 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.

2.18 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

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.

2.19 Однослойные стеновые 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 сериями, приводит к смятию панелей в местах опирания на фундаментные балки и обрушению стен.

Превышение максимальной высоты навесных стен, предусмотренной сериями 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 поризолита 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.

2.20 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 поэтажная 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 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.

3 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Повреждения 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.

3.1 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 увеличение 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 подсасыванием воды из нижних слоев в зону замерзающего грунта. При этом объем увеличивается и при температуре -22°C давление от льда достигает 20 Па, что вызывает разрушение материала фундаментов и вышележащих стен.

Результаты исследований показывают, что при промерзании грунтов, особенно пылеватых, суглинистых и глинистых 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 замо-

раживанию 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 подсосе, 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 нагрузки. 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 всё 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°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°C , так как в ней растворены вещества, понижающие температуру замерзания. В капиллярах диаметром 10^{-5} см и менее вода замерзает при температуре ниже -25°C .

Пористые материалы, сообщающиеся с наружной поверхностью крупными порами, не разрушаются. Если такие поры связаны волосистой 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 влаги в них затруднено.

Напряжение в конструкциях зависит не только от температуры охлаждения, но и от скорости замерзания и числа переходов через 0°C ; 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 α – поверхностное натяжение воды, Па;

r – радиус капилляра, м;

θ – 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, $Q = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг;

T – абсолютная температура замерзания воды, $T = 273$ К;

V_B, V_L – удельный объем соответственно 1 кг воды и льда;

$V_B = 1 \cdot 10^{-5}$ м³; $V_L = 1,091 \cdot 10^{-3}$ м³;

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°C давление в порах материала каменной конструкции увеличится на $dP = 1,347 \cdot 10^7 \text{ Па}$ (135 кг/см^2). Следовательно, при понижении температуры до минус 20°C в материале, поры которого полностью заполнены водой, напряжения, вызванные давлением льда, достигнут $2,7 \cdot 10^8 \text{ Па}$ (2700 кг/см^2). 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°C в наружном слое бетона вода в крупных порах переходит в лед. В постепенно охлаждающемся бетоне зона замерзания воды распространяется всё 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 проис-

ходит 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 ТНПА 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.

3.2 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, на-пример, 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 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 3.1).

Таблица 3.1 – 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 водостоков
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

Окончание таблицы 3.1

Места появления сырости	Внешние признаки	Причины
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 теплоизоляция	Мокрые темные пятна; местные отпотевания; налет ржавчины; волосяные трещины в теплоизоляции	Низкое качество сварных швов; прожоги теплоизоляции 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 теплоизоляцией; 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 м³ 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 кон-

струкций, 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 выполненным швах в однослойных крупноразмерных конструкциях, дождевая влага проникает в стены глубоко, в отдельных случаях – даже 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 минус 20 °С и 100 %-ной относительной влажности оно составляет 102,66 Па (0,77 мм рт. ст.), а при температуре плюс 100 °С 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 м² поверхности определяется из условия, что давление 133,32 Па (1 мм рт. ст.) соответствует давлению воздуха 13,6 кгс/см². 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 °С перепад парциального давления составляет $(17,54 - 0,77) \cdot 13,66 = 2,23$ кПа (228 кгс/см²).

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, ванных 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 слипанию воды в пустотах и порах в теплопроводящую пленку, в результате чего теплопроводность конструкций повышается. Объясняется это тем, что теплопроводность воды [$\lambda = 0,5$ Вт/(м²·°С)] 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 смачива-

ния). 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;

ρ_1 и ρ_2 – плотность, соответственно, воды и воздуха, Н/см;

g – ускорение свободного падения, см/с;

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.

Наблюдения показывают, 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 интен-

сивнее 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 3.2, а дождевой влагой различных типов конструкций – в таблице 3.3. Распределение повреждений, вызванных увлажнением через различные конструкции зданий, по данным М. Д. Бойко, приведено в таблице 3.4.

Таблица 3.2 – Распределение повреждений в зависимости от вида увлажнения

Вид увлажнения	Количество повреждений, %
Конденсат	32
Увеличение влажности	8
Случайное попадание воды	10
Атмосферные осадки (дождевая влага)	50

Таблица 3.3 – Распределение повреждений дождевой влагой различных типов конструкций

Вид увлажнения	Количество повреждений, %
Стены	38
Кровля	36
Окна	18
Другие конструкции	8

3.3 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 частицами грунта. Все виды грунтовой воды находятся во взаимодействии друг с другом и переходят один в другой.

Атмосферные осадки, проникая в грунт, превращаются либо в паровую, 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.

Таблица 3.4 – 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

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, асфальто-бетону, 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/л²;
- 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 углекислую.

3.4 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 сильно-агрессивные, а также на соответствующие им классы по условиям эксплуатации (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Классы среды по условиям эксплуатации

Класс среды по условиям эксплуатации	Характеристика среды
ХА0	Неагрессивная
ХА1	Слабоагрессивная
ХА2	Умеренно агрессивная
ХА3	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 3.1.

Степень воздействия агрессивных сред на конструкции определяется:

– для газовых сред – видом и концентрацией газов в воде, влажностью и температурой;

– 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 твердых сред и газов представлены соответственно в таблицах 3.6 и 3.7.

Таблица 3.6 – 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
<i>Примечание</i> – 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 %.	

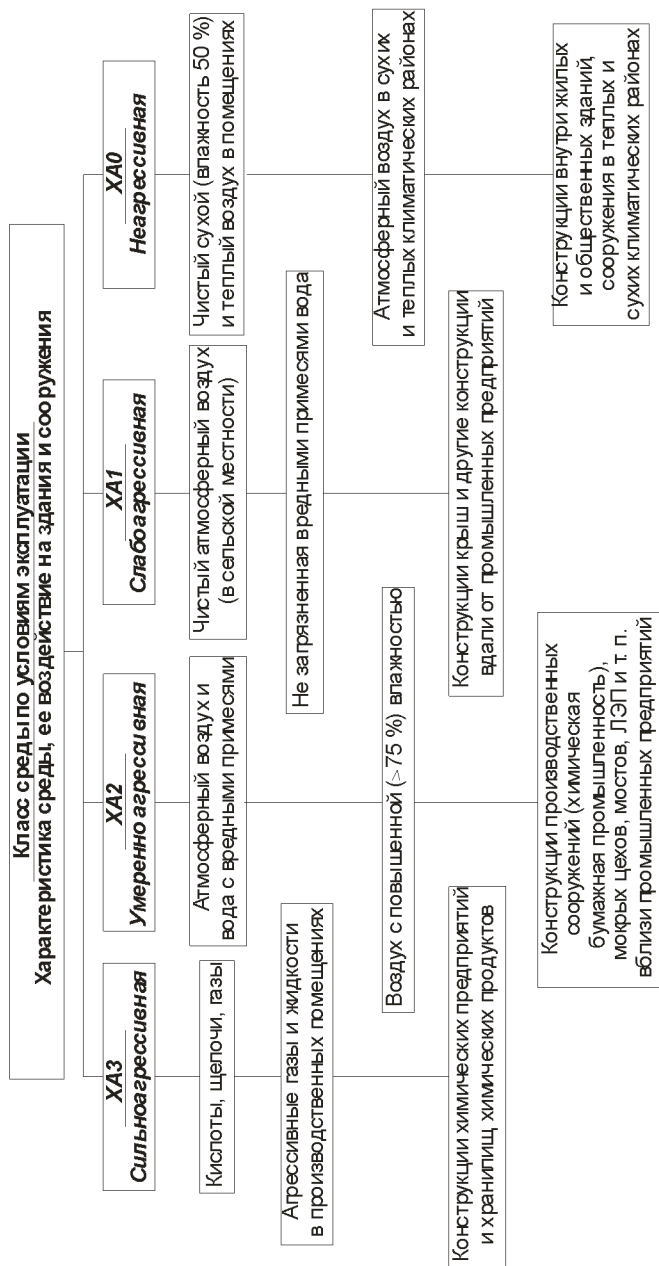


Рисунок 3.1 — Классы среды по условиям эксплуатации

Таблица 3.7 – Группы агрессивных газов в зависимости от их вида и концентрации

Наименование газа	Концентрация для групп газов, мг/м ³			
	A	B	C	D
Углекислый	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.

* Оксиды азота, растворяющиеся в воде с образованием растворов кислот.

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 3.8) характеризуется среднегодовой потерей прочности в зоне коррозии, а также скоростью разрушения материала.

Таблица 3.8 – 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:

- различные типы увлажнения;
- углекислый газ, сернистый ангидрид, фтористый водород, а также щелочи и кислоты;
- масла, нефть, нефтепродукты, растворители, различные виды сельскохозяйственных удобрений (фосфорные, аммонийные, азотные, калийные) и др.

3.4.1 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 3.9 и 3.10.

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 – ХА1, свыше 15 до 20 г/л – ХА2, свыше 20 г/л – ХА3.

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 3.9 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из кирпича газообразных сред

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43 Район (подрайон) влажности	Группа газов по таблице 3.7	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразных сред на конструкции из кирпича	
		глиняного пластического прессования	силикатного
Сухой	В	ХА0	ХА0
Нормально-сухой	С	ХА0	ХА0
	Д	ХА0	ХА0
Нормальный	В	ХА0	ХА0
Нормально-влажный	С	ХА0	ХА0
	Д	ХА0	ХА1
Влажный, мокрый	В	ХА0	ХА0
Влажный	С	ХА0	ХА1
	Д	ХА0	ХА2

Таблица 3.10 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из кирпича твердых сред

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43 Район (подрайон) влажности	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	ХА0	ХА0
Нормально-сухой	малогигроскопичные		
	Хорошо растворимые	ХА0	ХА0
	гигроскопичные		
Нормальный	Хорошо растворимые	ХА0	ХА1
Нормально-влажный	малогигроскопичные		
	Хорошо растворимые	ХА1	ХА2
	гигроскопичные		
Влажный, мокрый	Хорошо растворимые	ХА1	ХА2
Влажный	малогигроскопичные		
	Хорошо растворимые	ХА2	ХА2
	гигроскопичные		
* Перечень наиболее распространенных растворимых солей, аэрозолей, пыли и их характеристики приведены в таблице 3.6.			

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 подразд. 3.3.

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 кг/см²).

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 капилля-

ров 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

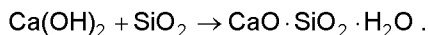
через конструкцию воды могут растворять и уносить находящийся в кладочном растворе гидроксид кальция, снижая его прочность. На начало разрушения каменных конструкций указывают появляющиеся на поверхности конструктивного элемента белые высолы, которые свидетельствуют о том, что в материале происходит 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 больший. Это создает благоприятные условия для беспрепятственного удаления мигрирующей влаги из материала кладки. Известковый раствор устойчив при знакопеременных температурах, так как коэффициент его линейного температурного расширения и кирпичной кладки почти совпадают.

3.4.1.1 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 орга-

нических 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.

3.4.1.2 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 CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Al_2O_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, не защищенные 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 малоустойчивы 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.

3.4.1.3 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.

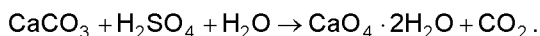
Осадочные породы отличаются высокой коррозионной стойкостью. Среди осадочных пород можно назвать песчаники, состоящие из зерен кварцевого песка, сцементированного карбонатом кальция, кремнеземом, гипсом, оксидами железа, глинистыми материалами; известняки, состоящие из кальцита. Песчаники и плотные известняки 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 CaCO_3 или магнезит 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 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, цементированные оксидом кремния, 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 3.11).

Таблица 3.11 – Стойкость некоторых строительных материалов к агрессивным воздействиям

Материал	Модуль основности	Стойкость в среде
Природный камень, содержащий 95–98 % SiO_2 .	$<1/4$	Устойчив в кислой среде, кроме плавиковой кислоты, неустойчив к основным оксидам
Природный камень, содержащий CaO и 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 – корродируют быстрее, чем силикатные материалы, так как в атмосферной среде преимущественно содержатся кислые примеси.

3.4.2 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 жидких неорганических сред, атмосферы воздуха, солей и аэрозолей и для эксплуатации металлических конструкций в грунтах представлены соответственно в таблицах 3.12–3.16.

Таблица 3.12 – 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)	ХА0
Нефть и нефтепродукты	ХА1
Растворители (бензол, ацетон)	ХА1
Растворы органических кислот	От ХА1 до ХА3
<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 3.13 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии атмосферы воздуха на металлические конструкции

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43 Район (подрайон) влажности	Группа газов по таблице 3.7	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	A	XA0	XA0	XA1
Нормально-сухой	B	XA0	XA1	XA1
	C	XA1	XA2	XA2
	D	XA2	XA2	XA3
Нормальный	A	XA0	XA1	XA1
Нормально-влажный	B	XA1	XA2	XA2
	C	XA2	XA2	XA2
	D	XA2	XA3	XA3
Влажный, мокрый	A	XA1	XA2	XA2
Влажный	B	XA2	XA2	XA2
	C	XA2	XA3	XA3
	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 3.14 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии солей и аэрозолей на металлические конструкции

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43 Район (подрайон) влажности	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
Сухой	Малорастворимые	XA0	XA0	XA1
Нормально-сухой	Хорошо растворимые	XA0	XA1	XA1
	малогигроскопичные			
	Хорошо растворимые гигроскопичные	XA1	XA1	XA2
Нормальный	Малорастворимые	XA0	XA1	XA1
Нормально-влажный	Хорошо растворимые	XA1	XA2	XA2
	малогигроскопичные			
	Хорошо растворимые гигроскопичные	XA2	XA2	XA2
Влажный или мокрый	Малорастворимые	XA0	XA1	XA1
Влажный	Хорошо растворимые	XA1	XA2	XA2
	малогигроскопичные			
	Хорошо растворимые гигроскопичные	XA2	XA2	XA3
<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 3.15 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии жидких неорганических сред на металлические конструкции

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
Пресные природные воды	Св. 3 до 11 включ.	До 5 включ. Св. 5	ХА2 ХА3
	До 3 включ.	Любая	ХА3
Минерализованная вода	Св. 6 до 8,5 включ.	Св. 20 до 50 включ.	ХА2
Производственные оборотные и сточные воды без очистки	Св. 3 до 11 включ.	До 5 включ. Св. 5	ХА2 ХА3
			ХА3
Сточные жидкости животноводческих зданий	Св. 5 до 9 включ.	До 5 включ.	ХА2
Растворы неорганических кислот	До 3 включ.	Любая	ХА3
Растворы щелочей	Св. 11	Любая	ХА2
Растворы солей концентрации св. 50 г/л	Св. 3 до 11 включ.	Любая	ХА3
Примечания: 1 При насыщении воды хлором или сероводородом следует принимать класс среды по условиям эксплуатации на одну ступень выше. 2 При удалении кислорода из воды и растворов солей (деаэрация) класс среды по условиям эксплуатации принимают на одну ступень ниже.			

Таблица 3.16 – 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	
Св. 0 до 6 включ.	До 5 включ.	Любая	ХА3	Влажный	ХА3	ХА2
	Св. 5	До 1 включ.	ХА1	Нормально-сухой	ХА2	ХА1
	Св. 5	Св. 1	ХА2	Нормально-влажный	ХА3	ХА2
Св. 6	До 5 включ.	Любая	ХА3	Влажный	ХА3	ХА3
	Св. 5	До 5 включ.	ХА2	Нормально-сухой	ХА2	ХА2
	Св. 5	Св. 5	ХА3	Нормально-влажный	ХА3	ХА2
* Средняя годовая температура воздуха определяется по СНБ 2.04.02. ** Не рассматривается воздействие геотермальных вод. *** Для сильнофильтрующих и среднефильтрующих грунтов с коэффициентом фильтрации св. 0,1 м/сут.						

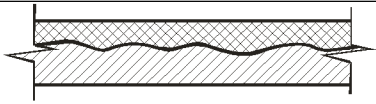
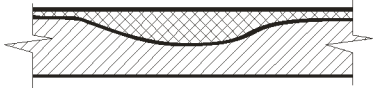
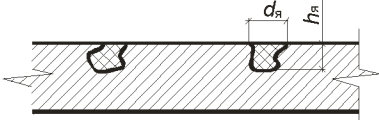
По механизму протекания коррозию разделяют на *химическую и электрохимическую*.

По условиям протекания различают коррозию:

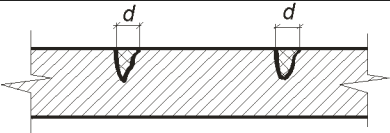
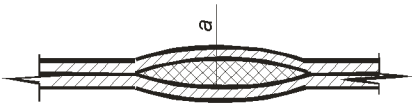
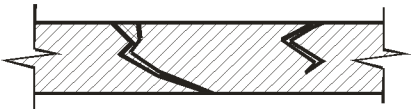
- газовую, обычно протекающую при высоких температурах;
 - в неэлектролитах (бензин, керосин и т. д.);
 - в электролитах (солях, кислотах, щелочах) при полном, частичном или периодическом погружении, в движущейся или покоящейся среде;
 - в естественных природных условиях (атмосферную, морскую, подземную);
 - 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 коррозии.

Основные виды коррозии стальных строительных конструкций по характеру коррозионных поражений представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Основные виды коррозии стальных строительных конструкций по характеру разрушения

Вид коррозии	Эскиз	Предельное значение
Сплошная		Не допускается
Пятнами (равномерная)		Не допускается
Язвенная		$h_{я} \leq 0,5 \text{ мм},$ $d_{я} \leq 2 \text{ мм}$

Окончание таблицы 3.17

Вид коррозии	Эскиз	Предельное значение
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

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.

Коррозионная усталость – вид квазихрупкого 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 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.

3.4.2.1 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 Δm – убыль (увеличение) массы;

S – площадь поверхности;

t – время.

Обычно v выражают в: г/(м²·ч) или мг/(см²·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:

$$\Pi = 8,76v / \rho,$$

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 x 360 = 8760 ч);

v – скорость коррозии, г/(м²·ч);

ρ – плотность, г/см³.

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 σ_0 – предел прочности до коррозии;

σ_1 – предел прочности после коррозии, рассчитанный по отношению к первоначальной площади сечения металлического образца.

Для грубой оценки коррозионной стойкости металлов существует десятибалльная шкала (таблица 3.18).

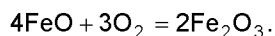
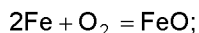
Таблица 3.18 – Оценка коррозионной стойкости металлов

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

Окончание таблицы 3.18

Группа стойкости	Глубинный показатель коррозии, мм/год	Балл
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

3.4.2.2 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 3.2). Обычно в условиях эксплуатации наблюдается именно такой механизм роста оксидной пленки металла, так как размер ионов самого металла меньше молекул кислорода.

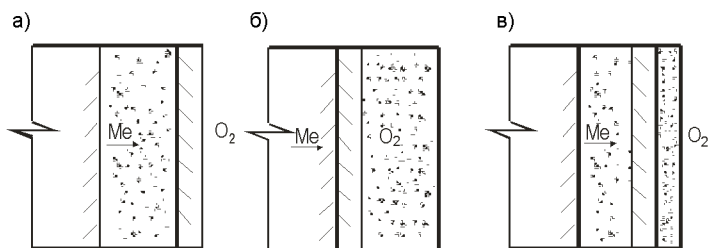


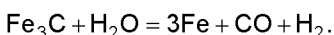
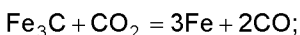
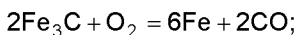
Рисунок 3.2 – Схема роста оксидной пленки при газовой коррозии:
 а – со стороны газовой среды; б – со стороны поверхности металла;
 в – между поверхностью металла и средой

Окисление материала 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.

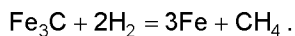
В действительности распределение температуры по поверхности и объему металла неодинаково, особенно в чугунных котлах, работающих на газовом топливе. В связи с тем, что тепловое расширение металла и оксида различно, оксидная пленка отслаивается местами, что создает условия для дальнейшей коррозии. При 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 всё 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 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$. 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 $\text{Cr} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Co} \rightarrow \text{Fe}$.

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.

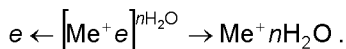
3.4.2.3 Электрохимическая коррозия. Процесс коррозии металлов в подавляющем большинстве случаев имеет электрохимический механизм, для действия которого необходимо присутствие влаги на поверхности металла.

Электрохимическая коррозия металлических конструкций приводит к наибольшему разрушению. 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.

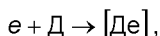
Сущность электрохимической коррозии состоит в деятельности гальванических микро- и макроэлементов: разнородные металлы, находясь в электролите, вызывают коррозию, которая является следствием работы коррозионных гальванических элементов или пар с замкнутой цепью.

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 Д – 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 (рисунок 3.3).

Между заряженными ионами и полярными молекулами воды возникает электростатическое взаимодействие, вследствие которого полярные молекулы воды определенным образом ориентируются вокруг анионов и катионов (рисунок 3.4).

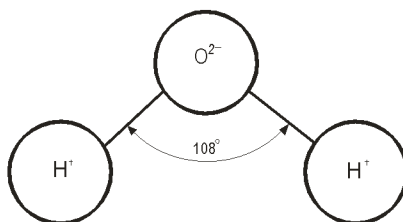


Рисунок 3.3 – Строение молекулы воды

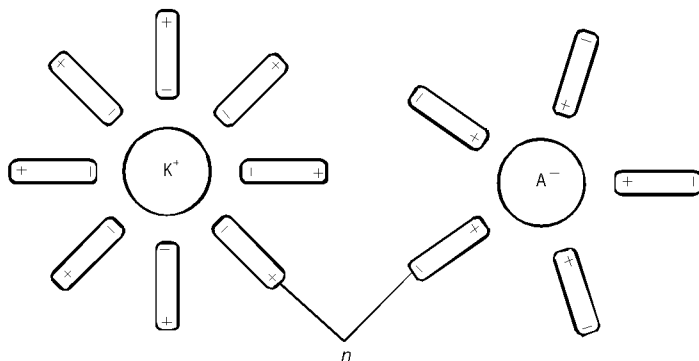


Рисунок 3.4 – Гидратация ионов:
 A^- – анод; K^+ – катод; n – полярные молекулы воды

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.

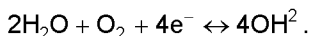
Потенциалы металлов, находящихся в растворе в равновесии с собственными ионами, называются равновесными. Величина равновесного электродного потенциала зависит от природы металла и раствора, температуры и активности ионов металла в электролите. Когда активность ионов металла в растворе равна единице, а температура электролита – 25 °С, значение потенциала данного металла соответствует стандартному.

Ниже приведены стандартные электродные потенциалы некоторых металлов, В:

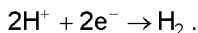
Al/Al ³⁺	-1,66	Fe/Fe ³⁺	-0,037
Zn/Zn ²⁺	-0,762	V ₂ (H ₂)H ⁺	0,000
Fe/Fe ²⁺	-0,440	Cu/Cu ²⁺	+0,337

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 $U = E_{\text{Cu}} - E_{\text{Zn}} = +0,337 - (-0,762) = 1,099 \text{ В}$.

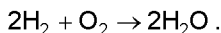
При электрохимической коррозии на одних участках металлоконструкции протекают анодные, на других – катодные процессы. При этом на катодных участках вода и растворенный в ней кислород присоединяют свободные электроны, образуя гидроксильную группу:



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 FeO , затем магнетит Fe_3O_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.

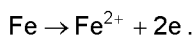
При образовании оксидов железа с валентностью ниже трех соединения также осаждаются на расстоянии нескольких молекулярных диаметров от анода и представляют собой рыхлый осадок, плохо сцепленный с поверхностью металла. Образовавшийся слой ржавчины приводит к дальнейшей коррозии.

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.

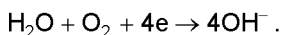
Локальными коррозионными элементами могут быть микроскопические или субмикроскопические примеси на микроскопически однородной поверхности. Любое загрязнение, например чужеродный металл, осаждающийся на поверхности металлической конструкции, вызывает появление электродного потенциала и служит причиной 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 каплями. 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 кромках 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.

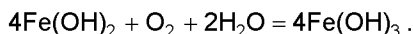
Точечная коррозия образуется также там, где анодами становятся относительно небольшие участки поверхности конструкции, покрытые адсорбированными пузырьками газа или другого инертного по отношению к материалу конструкции вещества. Под такими частичками кислород быстро иссякает, дальнейшее его поступление 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.

3.4.2.4 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 Fe^+ и анионы 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 Cl^- активируют и облегчают анодный процесс, при большем содержании уменьшается растворимость кислорода. В присутствии анионов NO_2 , 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 $\text{pH} = 9,5$ (рисунок 3.5). Это обусловлено образованием $\text{Fe}(\text{OH})_2$, насыщенный раствор которого имеет $\text{pH} = 9,5$.

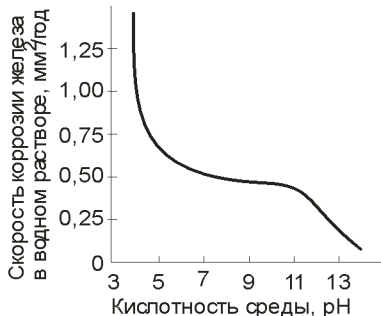


Рисунок 3.5 – Зависимость скорости коррозии железа в водном растворе от кислотности среды

При большем pH железо пассивируется и скорость коррозии уменьшается. В концентрированных щелочах при повышенной температуре скорость коррозии может снова увеличиться за счет образования гипохлорита FeO_2^- , при этом выделяется водород. В неокислительных кислотах (HCl , H_2SO_4 разб.) коррозия железа происходит с водородной деполяризацией. При повышении концентрации HCl , H_2SO_4 скорость коррозии увеличивается, достигая максимума в 30%-х и 50%-х растворах соответственно. При более высокой концентрации кислот железо пассивируется и коррозия не происходит. В растворе HCl скорость коррозии железа ниже, чем в H_2SO_4 такой же концентрации.

Атмосферная коррозия железа протекает с кислородной деполяризацией. 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_2 – 70 %, а при наличии на поверхности ржавчины – 55–65 %.

Коррозии железа способствует загрязнение воздуха SO_2 , HCl , H_2S , Cl_2 , NaCl , NaSO_4 , 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.

В кислых средах при протекании коррозии с водородной деполяризацией 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 3.6).

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 (HCl , H_2SO_4 разб.) с увеличением содержания хрома скорость коррозии стали растет, а в кислотах-окислителях (HNO_3 , H_2SO_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 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 HNO_3 , NaCl и других кислот.

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 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 HNO_3 , NaCl и других кислот.

Медь и ее сплавы. Медь может корродировать только с кислородной деполяризацией и переходит в раствор в виде Cu^{2+} . При взаимодействии Cu^{2+} и OH^- образуется труднорастворимый гидроксид $\text{Cu}(\text{OH})_2$. В присутствии H_2S образуется 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

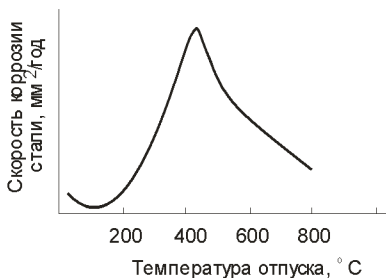


Рисунок 3.6 – Зависимость скорости коррозии стали от температуры отпуска

$\text{Cu}(\text{OH})_2$, $(\text{CuOH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$. 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 $\text{pH} > 4$ труднорастворимый $\text{Al}(\text{OH})_3$, превращающийся затем в $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

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 $\text{Al}-\text{Cu}$) 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 $\text{Al}-\text{Zn}$ (В95) ниже, чем дуралюмина, который корродирует даже после естественного старения, а сплава $\text{Al}-\text{Mn}$ – 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 $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

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 SO_2 , никель быстро тускнеет и заметно корродирует.

Титан легко пассивируется и хорошо сохраняет пассивное состояние даже в растворах, содержащих активаторы (анионы Cl^-). Этим объясняется его высокая коррозионная стойкость в морской воде, HNO_3 , HCl , H_2SO_4 и H_3PO_4 . Однако приложение растягивающих усилий может значительно увеличить скорость коррозии титана в этих средах. Сплавы $Ti - Al$ 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 SO_2 , хлоридов, при высокой влажности и температуре. В этих условиях кадмий более стоек, зато цинк более устойчив в промышленной атмосфере.

3.4.2.5 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 ($pH = 3 \dots 4$) 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 выпадать 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 (рисунок 3.7).

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 $2\text{--}3 \text{ г/дм}^2$. 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 ежедневная 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_2 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 способствуют 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

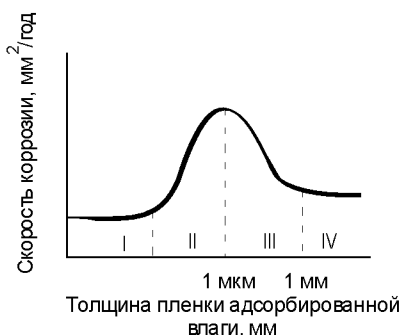


Рисунок 3.7 – Зависимость скорости коррозии от толщины пленки адсорбированной влаги

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 (SO_2), частичек солей (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.

3.4.2.6 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 (τ), 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. 5.1).

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 3.8).

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 мак-

ропор 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 3.8). При этом анодные участки и разрушения возникают там, где меньше доступ кислорода.

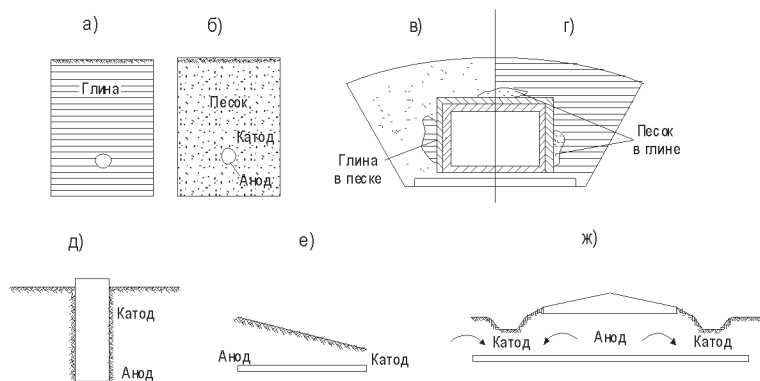


Рисунок 3.8 — Примеры почвенной коррозии как результата совместной деятельности микро- и макрокоррозионных пар

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 распреде-

лением 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 3.9, наиболее интенсивная коррозия происходит при сравнительно небольшой весовой влажности, примерно от 10 до 20 %, причем эти границы для разных грунтов различны.

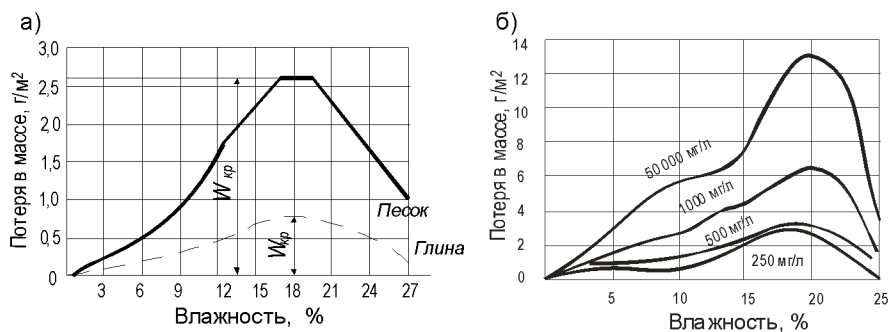


Рисунок 3.9 – Интенсивность коррозии в различных грунтах в зависимости от влажности (а) и концентрации солей в электролите (б)

При дальнейшем повышении влажности скорость коррозии замедляется. Наступает такое насыщение грунта водой, при котором она образует сплошной слой, затрудняющий доступ кислорода к металлу.

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 ак-

тивной 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 3.9). 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 их способность 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 (рН) грунтов (рисунок 3.10) рассматривается прежде всего в связи со стойкостью окисных пленок на поверхности металла при воздействии на него окружающей среды.



Рисунок 3.10 – Характеристика (рН) грунтовых вод и интенсивность коррозии металлов

В этом отношении все металлы делятся на *три группы* (рисунок 3.11).

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 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 pH. При повышении температуры от 60 до 80 °C скорость коррозии возрастает и железо корродирует как в кислотной, так и в щелочной среде. При высокой температуре коррозия снижается в связи с уменьшением содержания O_2 в воде.

Глины чаще всего имеют щелочную реакцию, у каолинитов 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 pH.

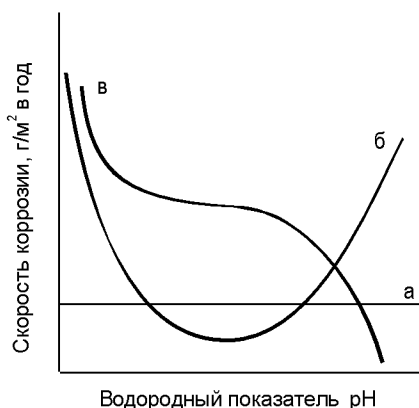


Рисунок 3.11 – Зависимость скорости коррозии металлов от показателя pH:
а – Pt, Ag, Au; б – Zn, Al, Pb; в – Mg, Mn, Fe, Cu, Ni, Cr

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 3.19).

Таблица 3.19 – 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

3.4.2.7 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 моторвагон, где с помощью пускорегулирующей аппаратуры подводится к тяговому 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 моторвагона 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 всё 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/м² (0,1 мА/см²) скорость коррозии равна $9,1 : 7,86 = 1,1$ мм/А в год.

На трубопроводы могут натекают 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.

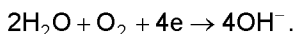
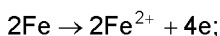
Блуждающие токи разрушают не только металлоконструкции, но и арматуру железобетонных конструкций, контактирующих с грунтовой средой.

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. Всё это обуславливает сложность анализа процессов в системе «рельс – земля – подземное сооружение».

3.4.2.8 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:



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 3.12).

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 3.13). Для открытых систем (вследствие понижения концентрации кислорода с повышением температуры) скорость коррозии падает.

При температуре свыше 70°C 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 3.14).



Рисунок 3.12 – Зависимость скорости коррозии от концентрации кислорода

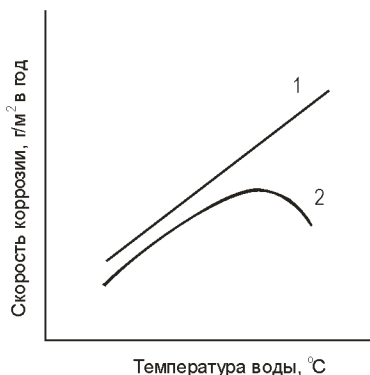


Рисунок 3.13 – Зависимость скорости коррозии металла труб от температуры воды в системах: 1 – открытых; 2 – закрытых

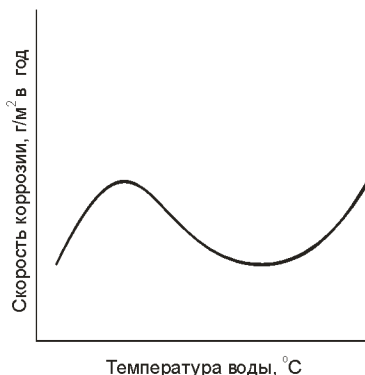


Рисунок 3.14 – Зависимость скорости коррозии от скорости движения воды в трубопроводе

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, транспортируе-

мой 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 Fe_3O_4 сильно замедляет коррозию. При правильной водоподготовке такую пленку можно сохранять длительное время.

При наличии достаточного количества кислорода вместо защитного оксида трехвалентного железа Fe_3O_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 небольшому напряжению, 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 Na_2FeO_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.

3.4.3 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 химиче-

ской 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 3.20 и 3.21.

Таблица 3.20 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона газообразных сред

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43 Район (подрайон) влажности	Группа газов по таблице 3.7	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразных сред на конструкции	
		бетона	железобетона
Сухой Нормально-сухой	A	XA0	XA0
	B	XA0	XA0
	C	XA0	XA1
	D	XA0	XA2
Нормальный Нормально-влажный	A	XA0	XA0
	B	XA0	XA1
	C	XA0	XA2
	D	XA1	XA3

Окончание таблицы 3.20

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43 Район (подрайон) влажности	Группа газов по таблице 3.7	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразных сред на конструкции	
		бетона	железобетона
Влажный или мокрый	A	XA0	XA1
Влажный	B ⁵	XA0	XA2
	C ⁵	XA1	XA3
	D ⁵	XA2	XA3
Примечания 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 зданий, расположенных в непосредственной близости к большим водоемам, а также находящихся в контакте с грунтом без гидроизоляционной защиты, влажностный режим следует принимать влажным. 3 Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, класс среды по условиям эксплуатации принимается как для нормального района влажности. 4 При наличии в газообразной среде нескольких агрессивных газов класс по условиям эксплуатации определяется по наиболее агрессивному газу. 5 При наличии в газообразной среде сульфида водорода класс по условиям эксплуатации принимается XA3			

Таблица 3.21 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона твердых сред

Влажностный режим помещений по ТКП 45-2.04-43 Район (подрайон) влажности	Растворимость твердых сред в воде ¹⁾ и их гигроскопичность	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии твердых сред на конструкции	
		бетона	железобетона
Сухой	Хорошо растворимые	XA0	XA1
Нормально-сухой	малогигроскопичные	XA1	XA2
Нормальный	Хорошо растворимые	XA1	XA1
Нормально-влажный	малогигроскопичные	XA1	XA2 ²⁾
Влажный или мокрый	Хорошо растворимые	XA1	XA2 ³⁾
Влажный	малогигроскопичные	XA2 ²⁾	XA3
¹⁾ Перечень наиболее распространенных растворимых солей и их характеристики приведены в таблице 3.6. Агрессивными солями по отношению к бетону и железобетону являются хлориды, сульфаты и нитраты. Присутствие малорастворимых веществ не влияет на агрессивность. ²⁾ Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, класс среды по условиям эксплуатации принимается как для нормального района влажности. Класс среды по условиям эксплуатации следует уточнять одновременно с требованиями таблиц 5, 6, 7 с учетом агрессивности образующегося раствора. ³⁾ При содержании солей-хлоридов класс по условиям эксплуатации следует относить к XA3.			

В таблицах 3.22 и 3.23 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 3.22 – Классы среды по условиям эксплуатации для арматуры железобетонных конструкций при воздействии жидких неорганических сред, содержащих хлориды

Показатель агрессивности грунта с содержанием хлоридов, мг/кг, для бетонов марок по водонепроницаемости			Класс среды по условиям эксплуатации
W4-W6	W8-W10	Выше W10	
Св. 250 до 500	Св. 500 до 1000	Св. 1000 до 7500	XA1
Св. 500 до 5000	Св. 1000 до 7500	Св. 7500 до 10000	XA2
Св. 5000	Св. 7500	Св. 10000	XA3
<i>Примечания</i> 1 При наличии подземных вод толщина защитного слоя бетона и марка по водонепроницаемости принимаются по таблице Б.1. 2 Показатели приведены для конструкций с защитным слоем бетона толщиной 20 мм. При толщине защитного слоя бетона 25, 30 и 50 мм показатели умножаются на 1,5; 1,7 и 2,5.			

В таблице 3.24 представлены классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона жидких органических сред.

Длительная служба железобетонных конструкций в условиях агрессивных воздействий природных и техногенных сред обеспечивается коррозионной устойчивостью как бетона, так и стальной арматуры.

Стальная 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 стальной арматуры. В первом случае окружающая среда агрессивна по отношению к бетону, а потому он разрушается; при этом обнажается и разрушается стальная арматура. Если же окружающая среда неагрессивна к бетону, но агрессивна к стальной арматуре, то, проникая через поры и трещины защитного слоя, она вызывает коррозию стальной арматуры.

Таблица 3.23 – Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии на конструкции из бетона и железобетона жидких неорганических сред

Показатель агрессивности	Показатель агрессивности жидкой среды ⁽¹⁾ 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	W6	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. Св. 0,0 до 4,0 включ.	Св. 4,0 до 5,0 включ. Св. 3,5 до 4,0 включ. Св. 0,0 до 3,5 включ.	Св. 3,5 до 4,0 включ. Св. 3,0 до 3,5 включ. Св. 0,0 до 3,0 включ.	XA1 XA2 XA3
Содержание агрессивной углекислоты, мг/л ⁽²⁾	Св. 10 до 40 включ. Св. 40	Св. 40 —	— —	XA1 XA2
Содержание магnezияльных солей, мг/л, в пересчете на ион Mg^{2+}	Св. 1000 до 2000 включ. Св. 2000 до 3000 включ. Св. 3000	Св. 2000 до 3000 включ. Св. 3000 до 4000 включ. Св. 4000	Св. 3000 до 4000 включ. Св. 4000 до 5000 включ. Св. 5000	XA1 XA2 XA3
Содержание аммонийных солей, мг/л, в пересчете на ион NH_4^+	Св. 100 до 500 включ. Св. 500 до 800 включ. Св. 800	Св. 500 до 800 включ. Св. 800 до 1000 включ. Св. 1000	Св. 800 до 1000 включ. Св. 1000 до 1500 включ. Св. 1500	XA1 XA2 XA3
Содержание едких щелочей, мг/л, в пересчете на ионы Na^+ и K^+	Св. 50 000 до 60 000 включ. Св. 60 000 до 80 000 включ. Св. 80 000	Св. 60 000 до 80 000 включ. Св. 80 000 до 100 000 включ. Св. 100 000	Св. 80 000 до 100 000 включ. Св. 100 000 до 150 000 включ. Св. 150 000	XA1 XA2 XA3
Суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и других солей, мг/л, при наличии испаряющихся поверхностей	Св. 10 000 до 20 000 включ. Св. 20 000 до 50 000 включ. Св. 50 000	Св. 20 000 до 50 000 включ. Св. 50 000 до 60 000 включ. Св. 60 000	Св. 50 000 до 60 000 включ. Св. 60 000 до 70 000 включ. Св. 70 000	XA1 XA2 XA3

Таблица 3.24 – 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
Масла: минеральные растительные животные	XA1 XA2 XA2	XA1 XA2 XA2	XA0 XA1 XA1
Нефть и нефтепродукты: сырая нефть ¹⁾ сернистая нефть сернистый мазут ¹⁾ дизельное топливо ¹⁾ керосин ¹⁾ 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.) ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилол, хлорбензол и т. д.) кетоны (ацетон, метилэтилкетон, диэтилкетон и т. д.)	XA0 XA1 XA1	XA0 XA0 XA1	XA0 XA0 XA0
Кислоты: водные растворы кислот (уксусная, лимонная, молочная и т. д.) концентрацией св. 0,05 г/л жирные водонерастворимые кислоты (каприловая, капроновая и т. д.)	 XA3 XA3	 XA3 XA2	 XA3 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) то же, св. 150 г/л дициандиамид (водные растворы с концентрацией до 10 г/л)	XA1 XA2 XA1	XA1 XA2 XA1	XA0 XA1 XA1
диметилформамид (водные растворы с концентрацией от 20 до 50 г/л) то же, св. 50 г/л	XA2 XA3	XA1 XA2	XA1 XA2

Среда	Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии жидких органических сред на бетон при марке по водонепроницаемости		
	W4	W6	W8
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

¹⁾Для внутренних поверхностей дниц и стенок резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов при воздействии на конструкции сырой нефти и мазута класс среды по условиям эксплуатации принимают XA2, а при воздействии мазута, дизельного топлива и керосина — XA1. Для внутренних поверхностей покрытия резервуаров при воздействии указанных жидкостей класс среды по условиям эксплуатации принимают XA1.

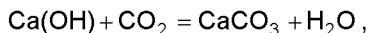
3.4.3.1 Коррозия бетона. Различаются три вида физико-химической коррозии бетона.

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, магния.

Минералогический состав цемента следующий: трехкальциевый силикат (Ca_3Si) — 70–20 %, двухкальциевый силикат (Ca_2Si) — 10–60 %, трехкальциевый алюминат (Ca_3Al_2) — 4–15 %, четырехкальциевый алюмоферрит (Ca_4AlFe) — 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 (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 (NaCl , Na_2SO_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%-м растворе Na_2SO_4 она равна 2,32, а в 4%-м 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.

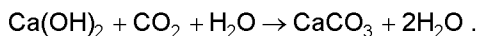
Таким образом, коррозия I вида – это выщелачивание бетона.

Коррозия II вида. Характерным для коррозии II вида является химическое разрушение компонентов бетона (цементного камня и заполнителей) под воздействием кислот и щелочей.

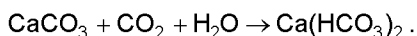
Кислотная коррозия цементного камня обусловлена химическим взаимодействием гидрата окиси кальция с кислотами.

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:

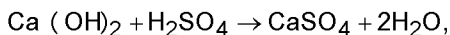
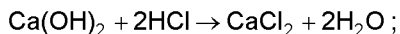


Дальнейший процесс взаимодействия диоксида углерода и бетона идет с образованием растворимого гидрокарбоната кальция:



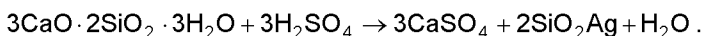
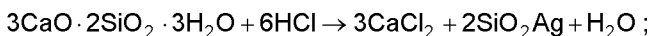
Сильной коррозионной активностью обладают серная, соляная, азотная кислоты. Под действием кислот цементный камень разлагается, образуя кальциевую соль и аморфные массы.

В качестве примера приведены реакции взаимодействия с бетоном соляной и серной кислот:



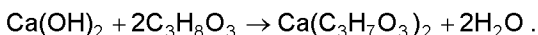
в результате чего Ca(OH)_2 разрушается.

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 цемента, содержащих гидрофобные добавки, способствует ускорению коррозии этих цемента по сравнению с портландцементом.

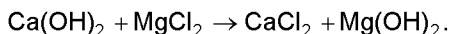
Стойкость бетонов в кислотной среде также зависит от вида заполнителей. Менее подвержены разрушению заполнители силикатных пород (гранит, сиенит, базальт, песчаник, кварцит).

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 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:



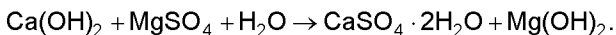
Магнезиальная коррозия вызывается действием на бетонные конструкции растворов магнезиальных солей (MgSO_4 и MgCl_2).

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 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 OH^- высока. С понижением pH среды гидроксид магния может частично перейти в раствор и при карбонизации образовать на поверхности бетона карбонатную пленку.

При действии магнизальных 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 объяснено при описании коррозии третьего вида. Хлорид кальция повышает растворимость извести и, следовательно, ускоряет коррозионные процессы первого вида.

В результате реакции между гидроксидом кальция и магнизальными солями образуется малорастворимый гидроксид магния, что создает условия для растворения и гидролиза гидратных образований в цементном камне. Наиболее интенсивно магнизальная коррозия протекает в растворах хлористого магния $MgCl_2$ концентрации более 2 %; в растворах сульфата магния $MgSO_4$ 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 полумокислы), 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 полумокислы, 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 равноценна. 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 сульфоалюмината 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.

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, коагулируют (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 рас-

творения 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 гидроалюминатом 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 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 – 2500–2700 мг/л.

Наличие сульфатов в воде, соприкасающейся с бетоном, способствует:

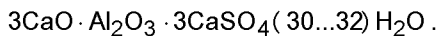
- повышению растворимости составных частей цементного камня и, таким образом, форсированию коррозии I вида;

- возникновению в определенных условиях обменных реакций с замещением катиона в сульфате ионом 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 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, NaCl повышает растворимость CaSO_4 и отодвигает начало образования кристаллов; CaCl_2 , наоборот, снижает растворимость 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 оказывать влияние на прочность бетона, начинают образовываться при концентрации сульфатов натрия и магния (иона SO_4) в растворе, превышающей 250 мг/л. Количество сульфоалюмината при достаточном содержании трехкальциевого алюмината Ca_3Al в твердой фазе пропорционально концентрации сульфата 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 всё 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 пуццолана-

новом 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.

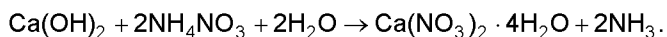
Обследования подземных частей сооружений часто показывают, что бетонные конструкции хорошо сохранились и не имеют признаков коррозии, хотя и увлажнялись солевыми растворами, в частности калийных солей. В то же время наземные конструкции, подвергаясь влиянию солей, находящихся в воде или в воздухе, сильно 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 солевыми 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 NH_4NO_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.

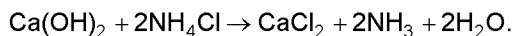
Азотная кислота, обычно имеющаяся в аммиачной селитре, может действовать не только на гидроксид кальция, но при определенных условиях и на другие составляющие цементного камня, разлагая их.

Сульфат аммония в воде тоже имеет кислую реакцию вследствие гидролиза. Он взаимодействует с гидроксидом кальция цементного кам-

ня, образуя гипс. Серная кислота, обычно имеющаяся в сульфате аммония, приводит к образованию гипса, а иногда и к разложению силикатов и алюминатов кальция.

Гидросульфатоалюминат 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:

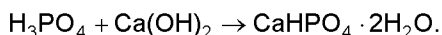


Нитратные удобрения, содержащие соли NaNO_3 , KNO_3 , воздействуя на свободную известь цементного камня, образуют четырехводный нитрат кальция, вредно действующий на бетон.

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 монокальцевого фосфата $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и гипса, но содержит также небольшое количество свободной фосфорной кислоты H_3PO_4 .

Гипс вызывает сульфатную коррозию цементного камня. Содержащиеся в суперфосфате монокальцевый фосфат и фосфорная кислота (эти соединения хорошо растворимы в воде) реагируют с гидроксидом кальция цементного камня следующим образом:



Монокальцевый 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 монокальцевый 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 KNO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (или NH_4Cl).

3.4.3.2 Коррозия стальной арматуры. Арматура в бетоне играет исключительно важную роль, так как воспринимает растягивающее напряжение от внешней нагрузки, обеспечивая прочность и жесткость конструкции.

Коррозия стальной 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 3.15). Сразу после изготовления под влиянием щелочной среды цементного бетона ($\text{pH} = 12,5 \dots 12,6$) 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).



Рисунок 3.15 – Классификация факторов, сопутствующих коррозии стальной арматуры

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 бесце-

ментных 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 потребуются, 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 CO_2 и серы SO_2 постепенно снижается, и если она оказывается ниже граничного значения pH, 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 NaOH , KOH и 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, т. к. 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, некарбонизированном, 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 заполяризованы 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 pH выравнивается 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 конструкциях 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 деполяризатора – кислорода – и соответствует $\approx 0,1$ 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 воз-

действие. 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, сернокислые 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 NH_4^+ образовывать с 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 SO_4^{2-} или Cl_4^{1-} на железе восстанавливаются с трудом и не пассивируют его). Образующиеся защитные пленки устойчивы, как правило, при повышенных значениях pH. Поэтому кислые соли, понижающие 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 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 карбонизированном или другом непассивирующем бе-

тоне. 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 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 % CaCl_2 , показывает, что пассивация напряженной арматуры более затруднена.

При упругой деформации стали площадь анодных участков, возникших 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, но 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 23ХГ2ГТ) – 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.

3.4.4 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 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 β -D-глюкопиранозы, соединенных глюкозидными 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 3.25 приведен средний химический состав (в процентах) древесины различных пород, произрастающих в Беларуси.

Таблица 3.25 – 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

Из таблицы 3.25 видно, что целлюлоза (клетчатка) составляет около половины массы древесины, лигнин – одну пятую (или немного больше) в лиственных породах и около четверти – в хвойных, пентозаны – одну десятую в хвойных и четверть – в лиственных.

Главное отличие лиственных пород от хвойных по составу заключается в несколько 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).

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 таннидов (являющихся в химическом отношении производными многоатомных фенолов: пирогаллола, 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: под действием кислот целлюлозы древесины – разложение, а под действием щелочей – растворение основного цементирующего вещества древесины – лигнина, 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.

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 лигни-

ном и гемицеллюлозами. Концентрированные щелочи действуют на древесину значительно сильнее, особенно при длительном нагревании под давлением. В последнем случае древесина практически полностью растворяется в щелоках 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 м³ свежесрубленной древесины дуба весит 1,04 т, а в воздушно-сухом состоянии – 0,76 т, сосны – соответственно 0,82 и 0,52 т, 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 пп. 5.7.1 и 5.7.2.

3.4.5 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 не применяется, 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, минерализо-

ванной растворенными в ней газами и частицами пыли, которые содержатся в воздухе. Биокоррозия полимерных материалов рассмотрена в подразд. 5.4.

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 деформации, но и сшивания (агрегирования) макромолекул. Нередко деформация 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 (политетрафторэтилен), 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 внеш-

него 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, сенсибилизируя фотоокислительные процессы.

3.4.5.1 Стойкость полимерных материалов к воздействию атмосферных факторов. Полиэтилен (ПЭ) – наиболее распространенный 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 взаимобратимы 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_2 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 светопроницаемость материала, который приобретает желтый оттенок.

В условиях хранения на отопляемых 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, α -, β - и γ -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° 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.

3.4.5.2 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 **древесопластиках** 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, меламиноформальдегидные. Однако при сравнении атмосферостойкости термопластов и конструкционных материалов на основе термореактивных 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 мм. 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.

3.5 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 3.16 приведена кривая изменения относительной прочности на сжатие образцов бетона нормальной плотности при хранении их погруженными в смазочные масла.

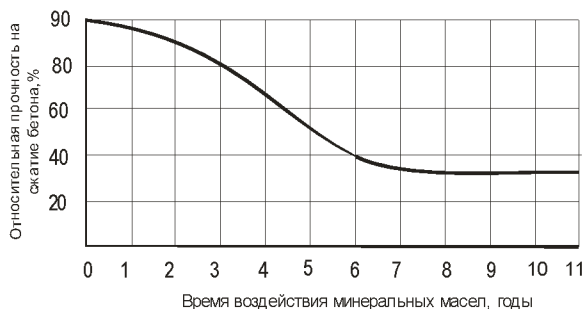


Рисунок 3.16 – Зависимость прочности бетона на сжатие от времени воздействия минеральных масел

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 $0,4\text{--}0,5 f_{cm}$ 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 рисунке 3.17 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.

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.

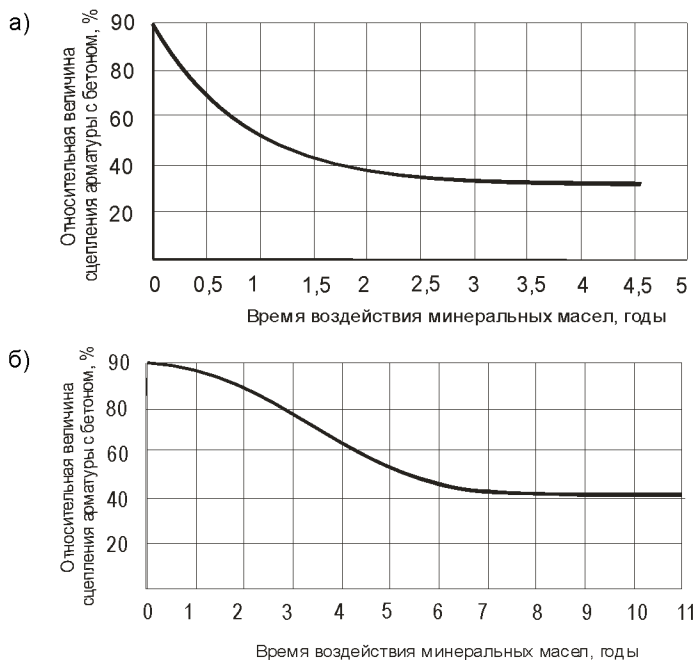


Рисунок 3.17 – Зависимость сцепления арматуры с бетоном от времени воздействия минеральных масел:
 а – гладкого профиля; б – периодического профиля

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.

3.6 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 длительною 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 способствует изменению геометрии конструкции и значительным 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 3.26.

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.

Приведенное выше, 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.

Таблица 3.26 – Примерная температура нагрева по внешним признакам

Обследуемый элемент	Характер изменения внешнего вида, формы и цвета	Температура нагрева, °С
Железобетонные конструкции	Оседание сажи на поверхности	100–400
	Появление на поверхности конструкций микро-трещин. 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	700–800
	На поверхности множество трещин; отделение крупного заполнителя от растворной части бетона и его оплавление; цвет бетона – темно-желтый	900 и выше
Ненагруженные стальные конструкции без специальных огнезащитных средств	Деформаций нет	До 200
	Разрушение защитного лакокрасочного покрытия	200–250
	Цвет стали изменяется от светло-желтого до красно-фиолетового	220–280
	Цвет стали – синий	300–450
	Образование на поверхности светлой окалины	480–520
	Коробление конструкций; на поверхности легко очищаемый нагар; обгоревшие кромки	500–660
	То же; на поверхности тонкий слой трудноочищаемой окалины	650–850
Нагруженные несущие стальные конструкции без специальных огнезащитных средств	Провисание конструкции под собственной массой; местами слой окалины отслаивается	800–900
	Оплавление участков; толстый слой окалины	>900
	Сильно деформированы; изломы, надрывы, оплавление и пережженные участки	1400
	Деформации, ведущие, как правило, к обрушению	550–600
Кладка из силикатного кирпича	Появление трещин; прочность снижается до 2 раз	700
	Интенсивное образование трещин; прочность снижается в 5 раз	900
Кладка из глиняного кирпича	Поверхностные трещины в кирпиче; большее их количество в цементно-песчаном растворе	До 800
	Оплавление и отслоение в кирпиче на глубину до 10 мм, шелушение раствора	800–900
	Кирпич поврежден на глубину более 10 мм; раствор выкрошен на глубину 20–30 мм	1000–1200
	Размягчение легкоплавких глин кирпича. Разрушение конструкций	1200–1400

Продолжение таблицы 3.26

Обследуемый элемент	Характер изменения внешнего вида, формы и цвета	Температура нагрева, °С
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 штукатурка	Розовый цвет на поверхности Светло-серый цвет; поверхностное шелушение	800–900 800–900
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
Алюминий и его сплавы (детали конструкций, посуда)	Образование капель	650
Латунь, фурнитура дверей, бронза	Скругление углов, образование капель	900

Окончание таблицы 3.26

Обследуемый элемент	Характер изменения внешнего вида, формы и цвета	Температура нагрева, °С
Серебро (украшения, столовые принадлежности)	То же	900
Бронза (люстры, ручки)	Образование капель	1000
Медь, литой чугун (трубы, радиаторы и пр.)	То же	1100–1200
Масляные краски и эмали в покрытиях конструкций	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

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.

3.7 Воздействие пожара на отдельные виды конструкций

3.7.1 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 3.27).

Таблица 3.27 – 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 отдельных слоев поверхности бетона; незначительные сколы бетона	На 5
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

Окончание таблицы 3.27

Состояние поверхности конструкции после пожара	Степень повреждения	Характеристика повреждения	Снижение прочности конструкции, %
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

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 %.

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 пострадает, 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 3.28, 3.29.

Таблица 3.28 – 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 ² каждое	Отслаивание поверхностных слоев бетона местами на площади от 10 до 30 см ² каждое	Отслаивание поверхностных слоев бетона местами на площади от 30 до 50 см ² каждое	Отслаивание бетонных слоев полностью по всей поверхности
			Бетон подвергается взрывообразному разрушению на поверхности массивных сечений на глубину 20–30 мм или образование сквозных отверстий, составляющих до 20 % площади элемента	Следы огневой эрозии или взрывообразного разрушения бетона на глубину более 30 мм в массивных сечениях или образование сквозных отверстий (более 20 % площади сборного элемента). Нарушение сцепления арматуры с бетоном по всему периметру сечения. Отслаивание защитного слоя бетона в начале огневого воздействия

Окончание таблицы 3.28

Контролируемый показатель	Качественная и количественная характеристики.			
	Состояние конструкции после воздействия на ее поверхность температуры, °C			
	до 700	от 700 до 900	от 900 до 1200	1200
Звук простукивания	Звонкий	Звонкий	Глухой	Глухой
Оценка прочности бетона зубилом	Остается неглубокий след	Остается заметный след	Легко вбивается в бетон на глубину 10–20 мм	
Состояние рабочей арматуры	Нормальное	Нормальное	Оголение арматуры. Выпучивание до 30 % сжатой арматуры	Разрывы арматурных стержней или пережог; выпучивание более 50 % сжатой арматуры
Общее состояние конструкций				
	Состояние поверхности бетона элементов незначительно отличается от конструкций, не поврежденных огнем	Состояние поверхности бетона, отдельных элементов отличается от конструкций, не поврежденных огнем, наличием большого количества неглубоких температурно-усадочных трещин	Наличие большого 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
Степень повреждения				
	Слабая, 5–10 %	Средняя, 11–25 %	Сильная, 25–50 %	Аварийная, более 50 %

Таблица 3.29 – Контроль состояния плит перекрытия, покрытия и балок после пожара

Контролируемый показатель	Качественная и количественная характеристики.			
	Состояние конструкции после воздействия на ее поверхность температуры, °C			
	до 700	от 700 до 900	от 900 до 1200	1200
Сажа и копоть	В отдельных местах или отсутствуют	В отдельных местах	Всё покрыто	Слабая закопченность, сажи нет
Изменение цвета бетона	Нет	От серого до розоватого	От бледно-серого до белого	Темно-желтый
Звук при простукивании 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

Окончание таблицы 3.29

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
Состояние рабочей арматуры	Нормальное	Нормальное	Перекалывание арматуры и снижение 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 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 крошится и осыпается. Образование трещин в стыках частей элемента	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 (полков, панелей), взрывообразное разрушение или следы огневой эрозии бетона массивных сечений на глубину более 20 мм. Потеря сцепления арматуры с бетоном у концов элемента или более 1/4 пролета в его середине
Общее состояние конструкций				
	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)
Степень повреждения				
	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 достигает 500–700 °С.

3.7.2 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 3.30 приведены ориентировочные данные об ослаблении прочности кладки при огневом воздействии с температурой до 800 °С за счет уменьшения ее рабочей толщины.

Таблица 3.30 – 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 разру-

шение 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 3.31.

Таблица 3.31 – 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 способность конструкций не снижается	До 800	Слабая
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
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

3.7.3 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 3.32.

Таблица 3.32 – 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
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 выше 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.

3.7.4 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 кото-

рой 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 3.33.

Таблица 3.33 – 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

4 ТРЕЩИНЫ В КОНСТРУКЦИЯХ

Одним 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.

4.1 Трещины в железобетонных элементах

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.

4.1.1 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 4.1):

- 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 сдвиговый 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 4.1, д);
- ветвления зигзага трещины с включениями клиновидных элементов (см. рисунок 4.1, е);
- в виде часто расположенных трещин отрыва пересекаемых трещиной сдвига (см. рисунок 4.1, ж);
- тонкие части бетона между трещинами, которые могут разрушаться от потери устойчивости (см. рисунок 4.1).

Возможны и другие механизмы разрушений.

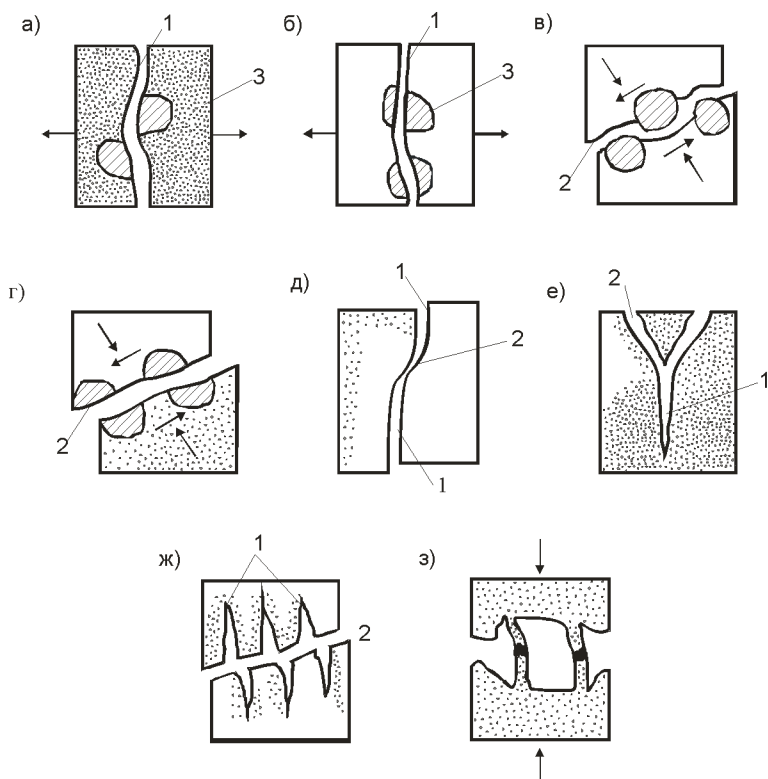


Рисунок 4.1 – Механизмы разрушения структуры бетона:

а, б – отрывной, в, г – сдвиговый, д – з – смешанные;

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.

4.1.2 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.

4.1.3 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.

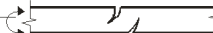
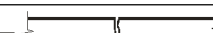
Необходимо отметить, что в зависимости от категории трещиностойкости, связанной с условиями эксплуатации, видом (классом) арматуры, напряженным состоянием сечений (растяжение, сжатие) и продолжительностью раскрытия, предельно допустимая ширина раскрытия трещин в условиях неагрессивной среды колеблется от $a_{срс} < 0,1$ до $a_{срс} < 0,4$ 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 4.1.

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 4.1 – Трещины в железобетонных элементах

Вид трещин	Форма трещин	Элементы конструкций
Сквозная клиновидная		Внецентренно-растянутые и
Сквозная внахлестку		
Несквозная клиновидная		Изгибаемые и внецентренно-сжатые
Сквозная с 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 поперечных сил и изгибающих моментов (рисунок 4.2).

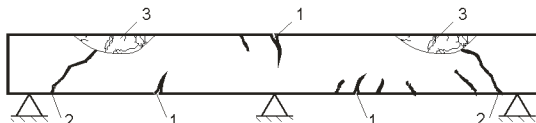


Рисунок 4.2 – Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах, работающих по балочной схеме:

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.

4.1.4 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 4.3, 4.4 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.

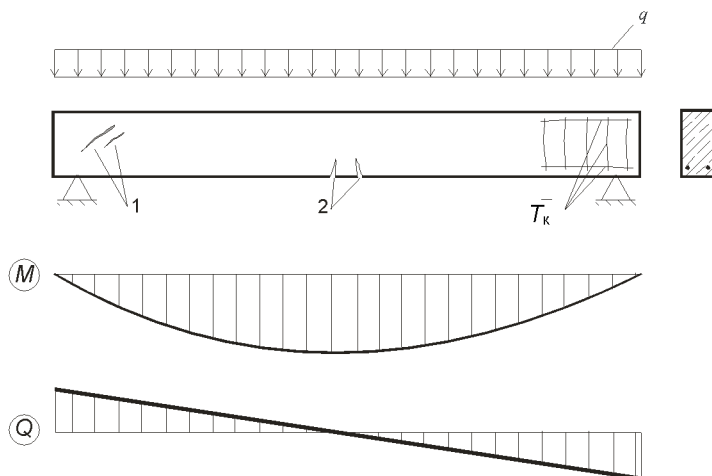


Рисунок 4.3 – Картина трещинообразования в однопролетной балке:
1, 2 – «силовые» трещины; T_k – трещины, образовавшиеся в результате коррозии стальной арматуры

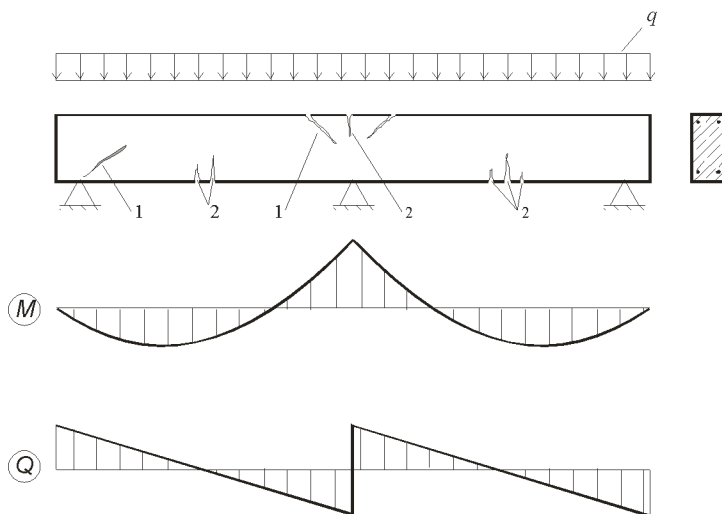


Рисунок 4.4 – Картина трещинообразования в многопролетной балке:
1, 2 – «силовые» трещины

4.1.5 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 4.5 приведены характерные трещины в предварительно напряженных стропильных балках.

Причины возникновения указанных на рисунке 4.5 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 на сжатие, большой шаг поперечной арматуры, плохое приваривание поперечных стержней к продольным).

Причинами появления трещин 3 являются низкий класс бетона по прочности на сжатие, перегрузка нормального сечения. Низкий класс бетона по прочности на сжатие, 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 косвен-

ном армировании в зоне заанкеривания предварительно напряженной арматуры и низкой прочности бетона на момент обжатия.

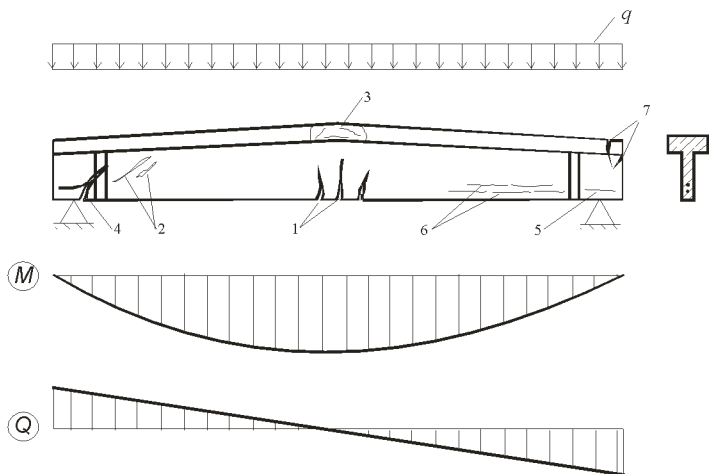


Рисунок 4.5 – Картина трещинообразования в предварительно напряженной стропильной балке:
1–7 – «силовые» трещины

Трещины 7 могут быть вызваны непроектным соединением закладных деталей смежных с балкой конструкций.

4.1.6 Трещины в сжатых элементах

Появление продольных трещин вдоль арматуры (рисунок 4.6) 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.

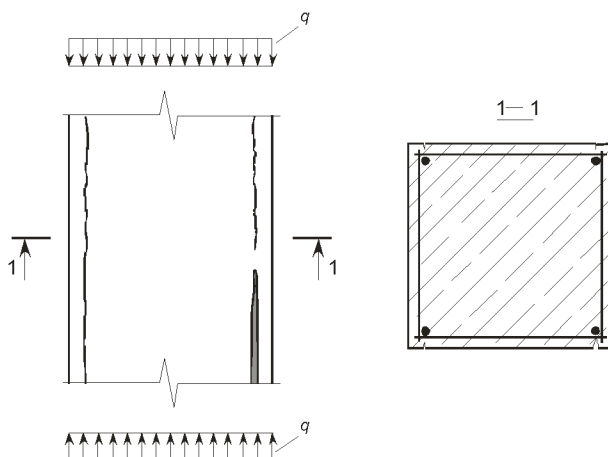


Рисунок 4.6 – Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах

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 по прочности на сжатие. Появление вертикальных силовых трещин часто провоцируется усадочными трещинами, совпадающими с ними по направлению.

Картина трещинообразования в колоннах представлена на рисунке 4.7.

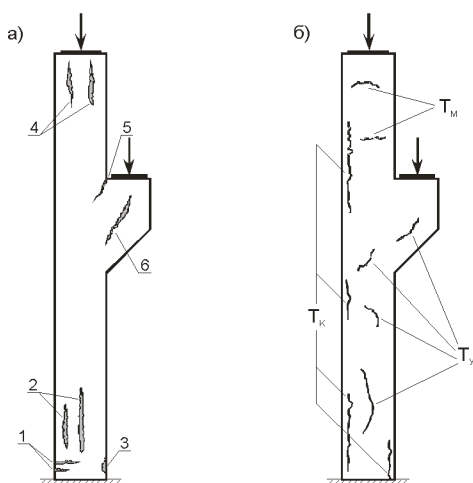


Рисунок 4.7 – Картина трещинообразования в колоннах сплошного сечения:
 а – трещины от действия эксплуатационных нагрузок;
 б – трещины от усадки бетона (T_y), коррозии арматуры (T_k), монтажных нагрузок (T_m)

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 на сжатие.

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 на сжатие.

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 на сжатие, перегрузка консоли.

4.1.7 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 4.8.

Причинами появления *наклонных* трещин опорного узла являются: трещин 1 – низкий класс бетона по прочности на сжатие, 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 на сжатие, 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.

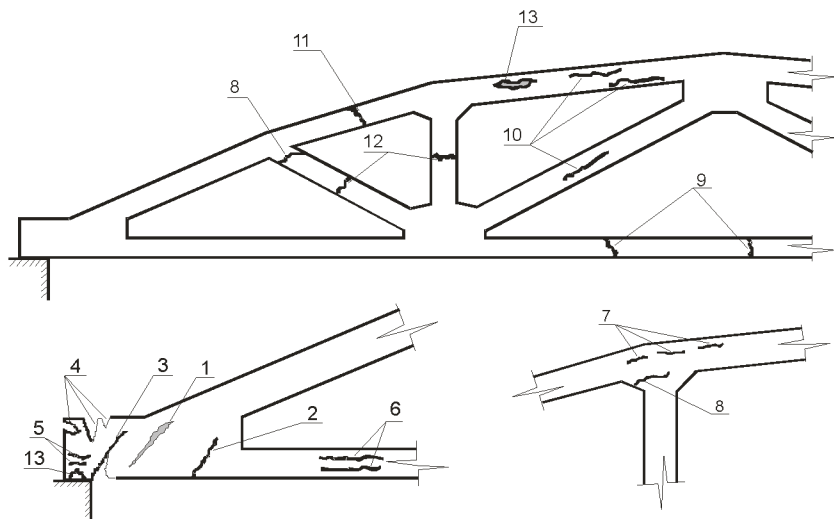


Рисунок 4.8 – Картина трещинообразования в стропильной ферме:
1–13 – различные типы трещин

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.

4.1.8 Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий

Характер трещинообразования в плитах и панелях представлен на рисунке 4.9.

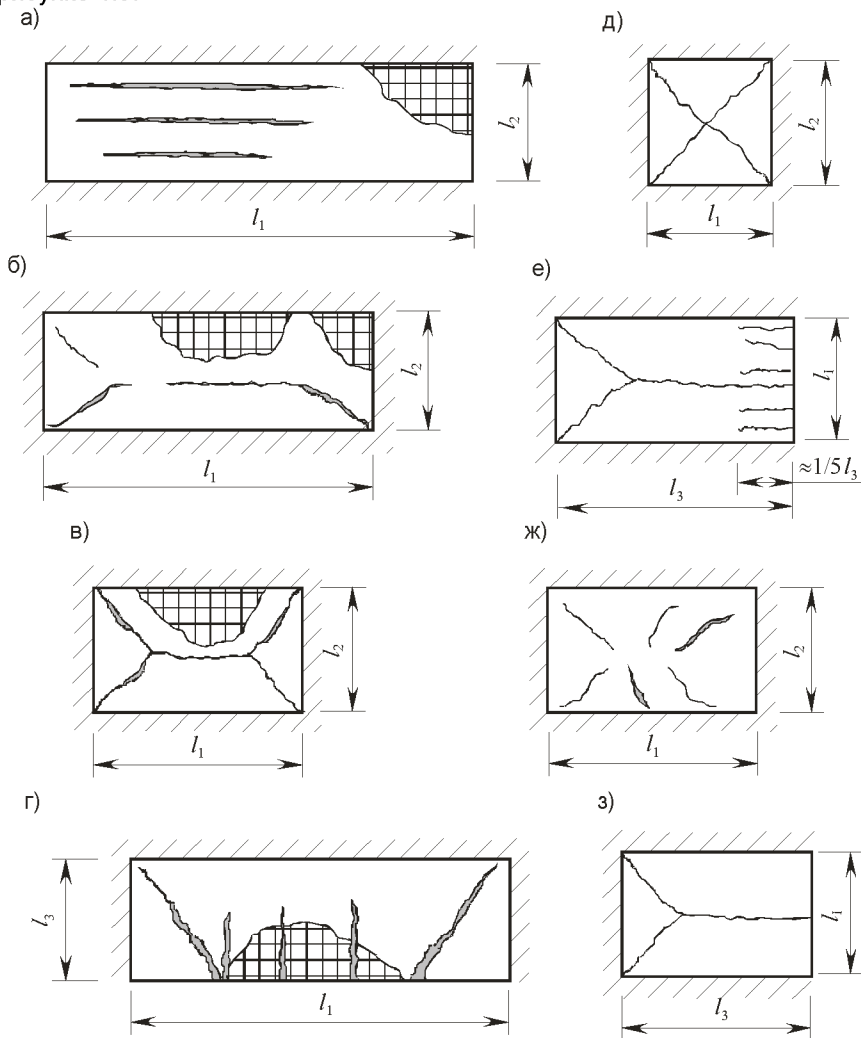


Рисунок 4.9 – Характерные «силовые» трещины на потолочной поверхности плит, нагруженных равномерно распределенной (а – е, з) и сосредоточенной (ж) нагрузками: а – работающих по балочной схеме при $l_1/l_2 \geq 3$; б – опертых по контуру при $2 < l_1/l_2 < 3$; в, ж – то же при $l_1/l_2 \leq 2$; д – то же при $l_1/l_2 = 1$; е – опертых по трем сторонам при $l_3/l_1 < 1,5$ (как правило $l_3/l_1 = 0,3 \dots 0,5$); з – то же при $l_3/l_1 > 1,5$

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 4.9). При этом бетон сжатой зоны может быть не нарушен. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты. Как видно из рисунка 4.9, 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 4.10.

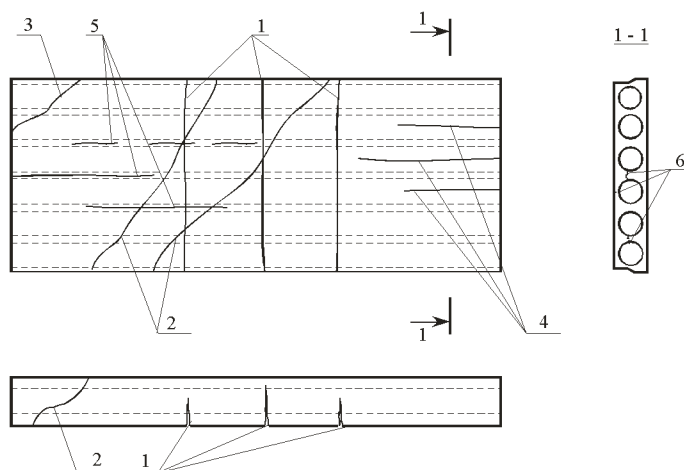


Рисунок 4.10 – Силовые и технологические трещины в многопустотной панели перекрытия:

- 1 – нормальные; 2 – наклонные; 3 – наклонные, вызванные защемлением продольного участка панели; 4 – продольные, вызванные размораживанием бетона в местах расположения пунсонных отверстий; 5 – продольные, вызванные коррозией арматуры; 6 – технологические в ребрах между пустотами, образующиеся при вытягивании пунсонов и продольные трещины в верхней полке вдоль пунсонных 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 «втов» 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 4.11 и 4.12.

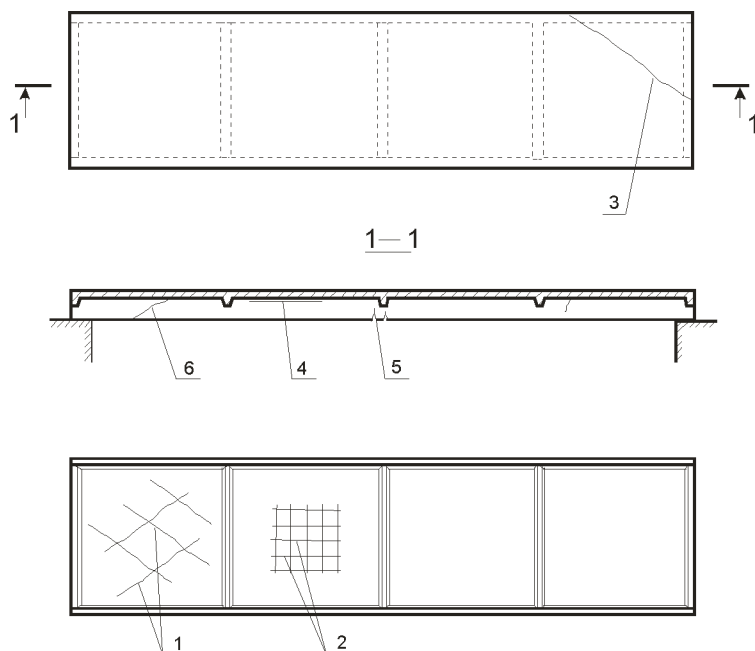


Рисунок 4.11 – Силловые и эксплуатационные трещины ребристой плиты перекрытия (покрытия):

- 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 усачных трещин.

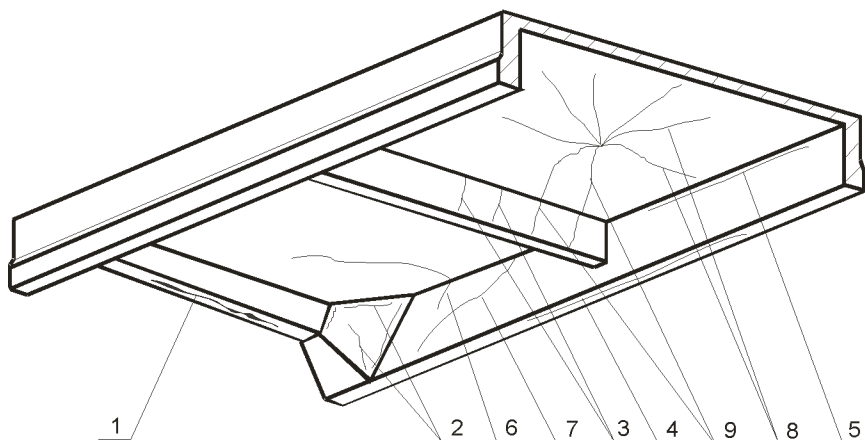


Рисунок 4.12 – Характерные трещины ребристой плиты перекрытия (покрытия): 1 – продольные по поперечным ребрам; 2 – различного характера по «вуту»; 3 – нормальные по поперечным ребрам; 4 – продольные в продольном ребре; 5 – горизонтальные на участке перехода полки в продольное ребро; 6 – наклонные по 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.

4.1.9 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 4.13.

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.

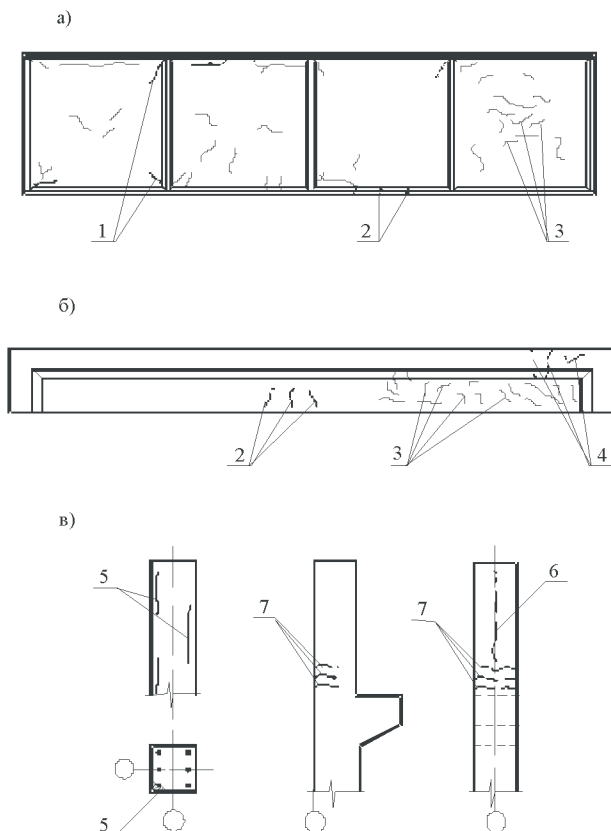


Рисунок 4.13 – Характер образования трещин в элементах железобетонных конструкций от огневого воздействия:

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 двухмерным 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 7 на 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 4.14.

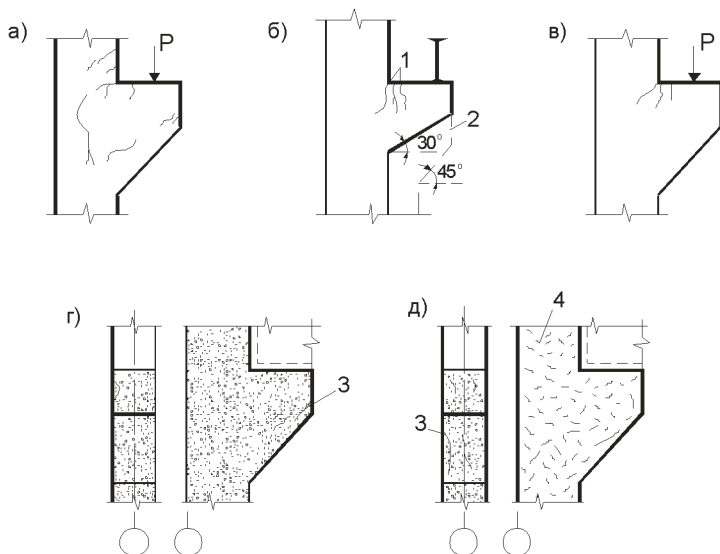


Рисунок 4.14 – Характер образования трещин в коротких консолях железобетонных колонн от огневого воздействия:

а – трещины среза при одновременном истощении 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 4.14, г, д).

4.2 Трещины в каменных (кирпичных) конструкциях

Трещины в каменных конструкциях являются основным видом их деформов и повреждений.

4.2.1 Основные причины появления трещин

Кроме указанных выше (разд. 1–3) 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.

4.2.2 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_{cr} , трещин нет, и конструкция, безусловно, имеет достаточную для восприятия существующей нагрузки несущую способность.

При нагрузках $F \geq F_{cr}$ 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_{cr} при котором появляются трещины, зависит от вида используемого в кладке раствора, а именно:

– в случае кладки на цементном растворе

$$F_{cr} = (0,6 - 0,8)F_u ;$$

– в случае кладки на сложном растворе

$$F_{crc} = (0,5 - 0,7)F_u ;$$

– в случае кладки на известковом растворе

$$F_{crc} = (0,4 - 0,6)F_u ,$$

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 исчезновение прочности кладки.

Последовательность развития трещин в кладке представлена на рисунке 4.15.

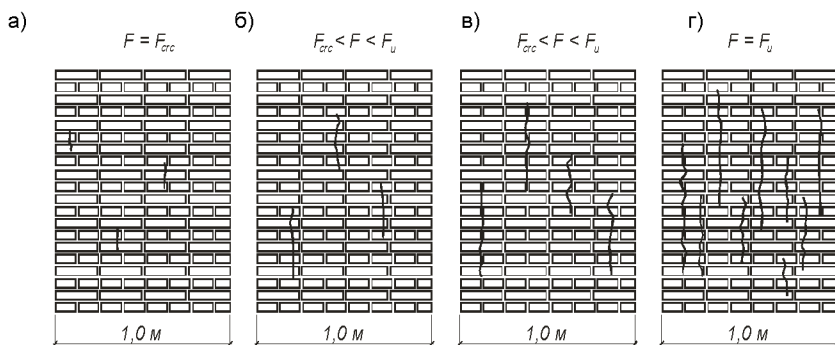


Рисунок 4.15 – Стадии трещинообразования каменной кладки при сжатии:
а – первая; б – вторая; в – третья; г – четвертая

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.

4.2.3 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 ре-

зультате 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 4.16.

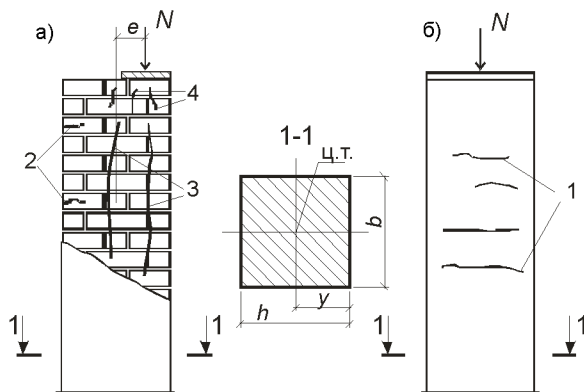


Рисунок 4.16 – Трещины во внецентренно-сжатой кирпичной колонне:
 а – трещины в кладке при перегрузке; б – волосяные трещины на оштукатуренной поверхности колонны: 1 – горизонтальные трещины на оштукатуренной поверхности; 2 – горизонтальные трещины в теле кладки; 3 – трещины от перегрузки сжатой части сечения; 4 – трещины от смятия кладки под сосредоточенной силой

4.2.4 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 4.17 показана картина трещинообразования наружной кирпичной стены.

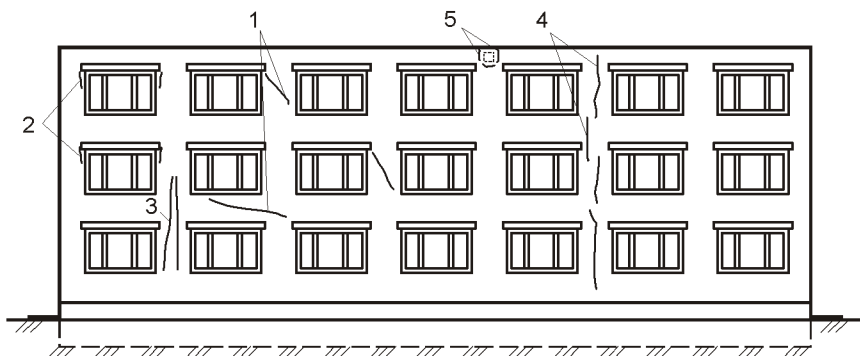


Рисунок 4.17 – Картина трещинообразования наружной стены кирпичного здания:

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 4.18–4.27.

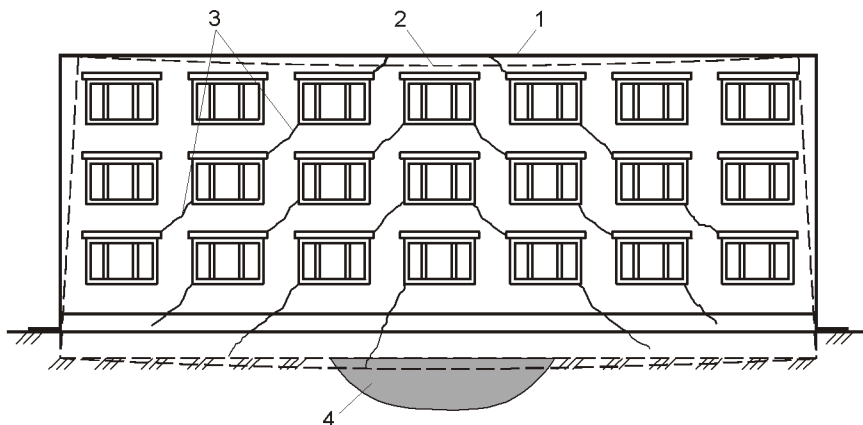


Рисунок 4.18 – Деформации в виде прогиба здания при наличии в основании слабого грунта:

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.)

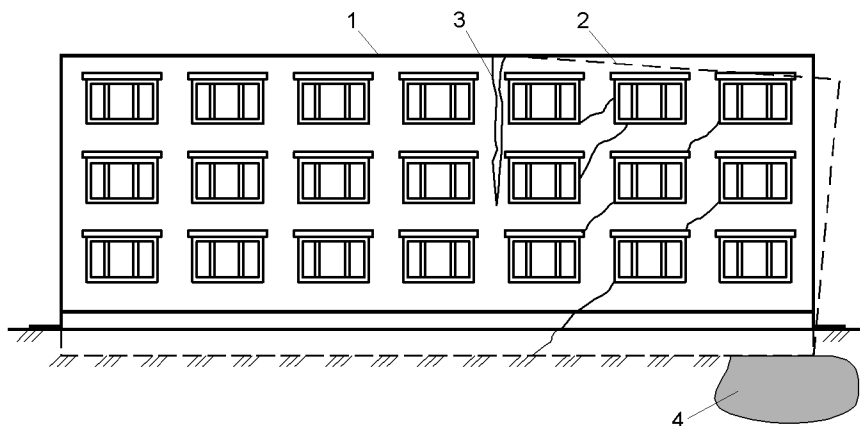


Рисунок 4.19 – Деформации в виде перекоса здания при наличии в основании слабого грунта:

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.)

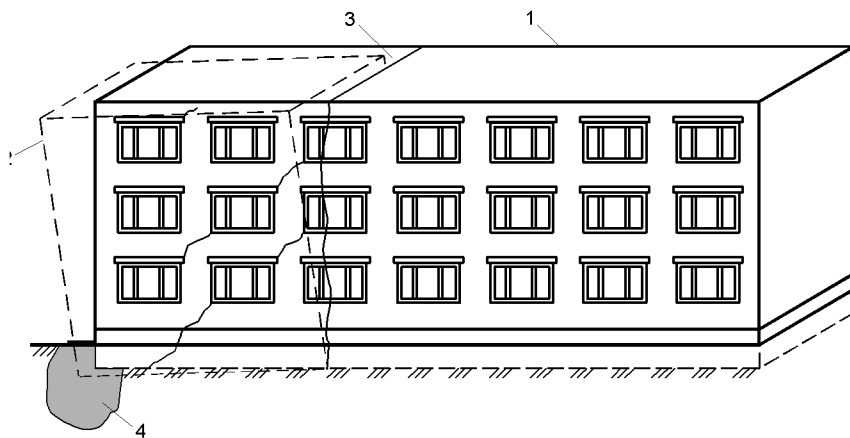


Рисунок 4.20 – Деформации в виде кручения здания при аварийном замачивании основания:

1, 2 – соответственно положения здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкции; 4 – аварийное замачивание грунтов в угловой части здания

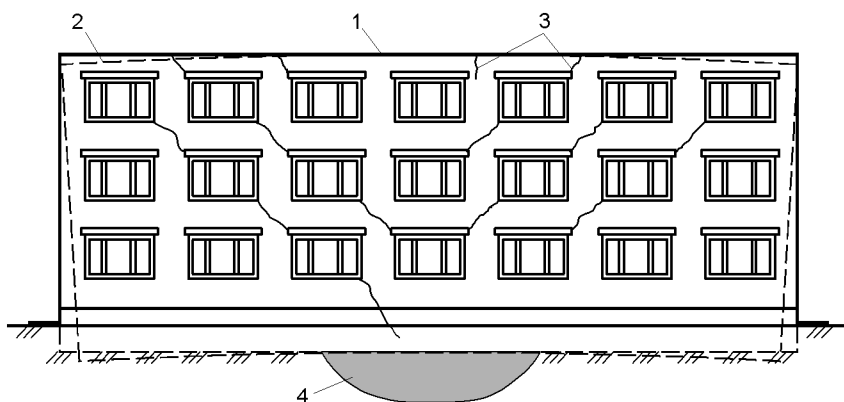


Рисунок 4.21 – Деформации в виде выгиба здания при наличии в основании малосжимаемого грунта:

1, 2 – соответственно положения здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкции; 4 – малосжимаемый грунт (линза или инородные малосжимаемые включения)

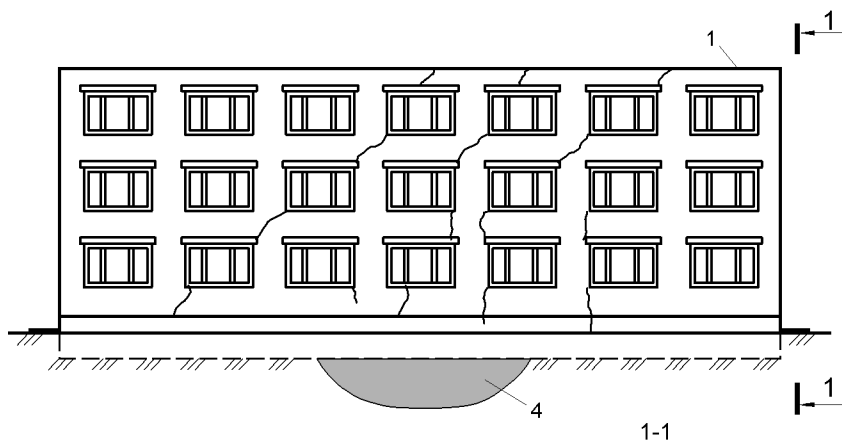


Рисунок 4.22 – Деформации в виде разлома здания при аварийном замачивании основания:

1, 2 – соответственно положения здания до и после деформации; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкции; 4 – аварийное замачивание грунтов основания на различных участках пятна застройки здания

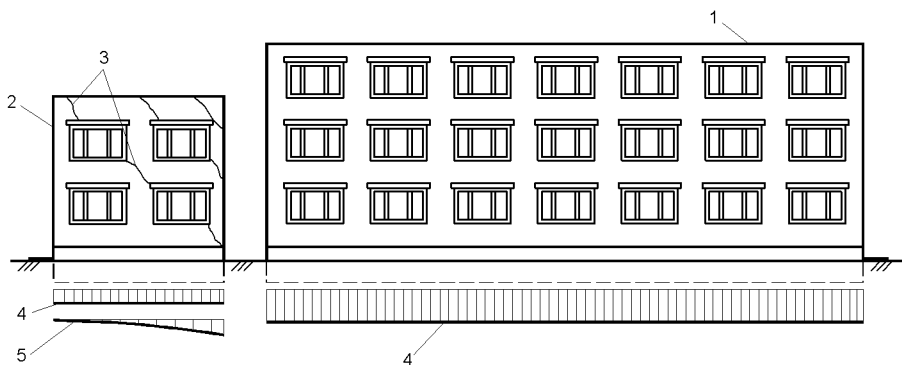
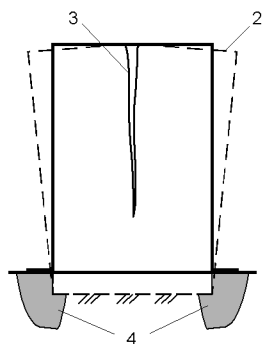


Рисунок 4.23 – Деформации при возведении нового здания возле существующего:

1 – возводимое новое здание; 2 – существующее здание; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов; 5 – эпюра дополнительных осадок фундаментов

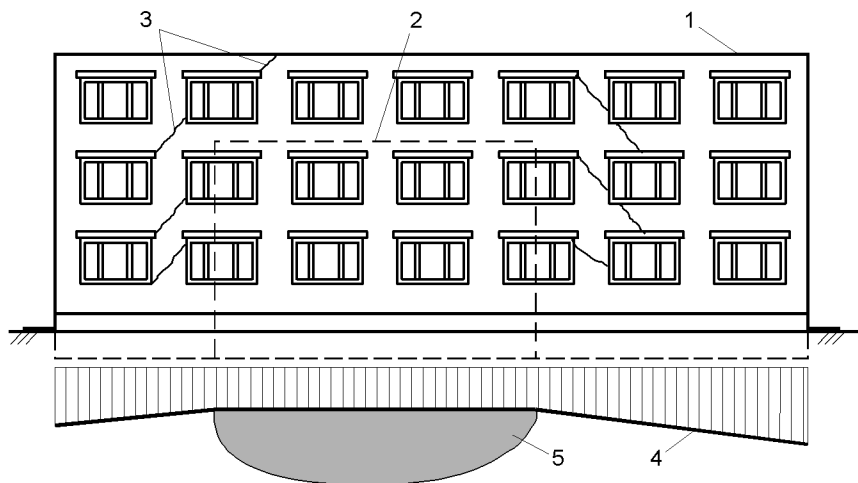


Рисунок 4.24 – Деформации при строительстве нового здания на месте снесенного:

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

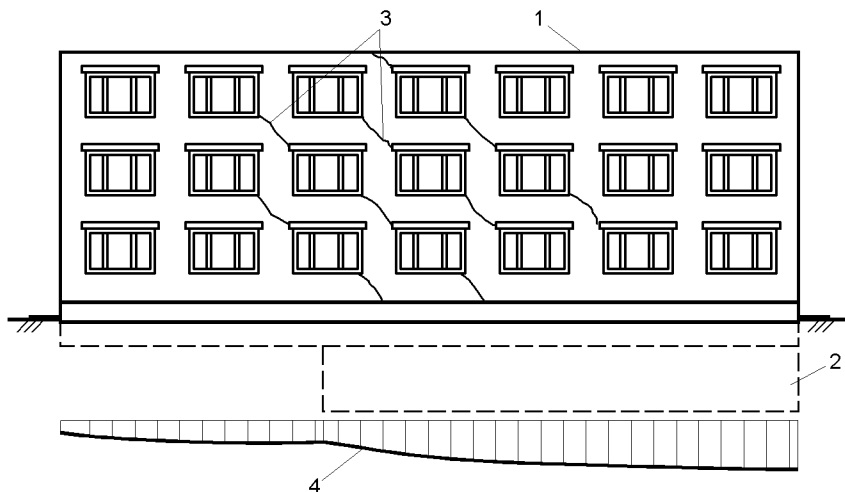


Рисунок 4.25 – Деформации при неправильном устройстве фундаментной части здания:

1 – возводимое здание; 2 – фундаментальная часть здания; 3 – места появления трещин и развития повреждений конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов

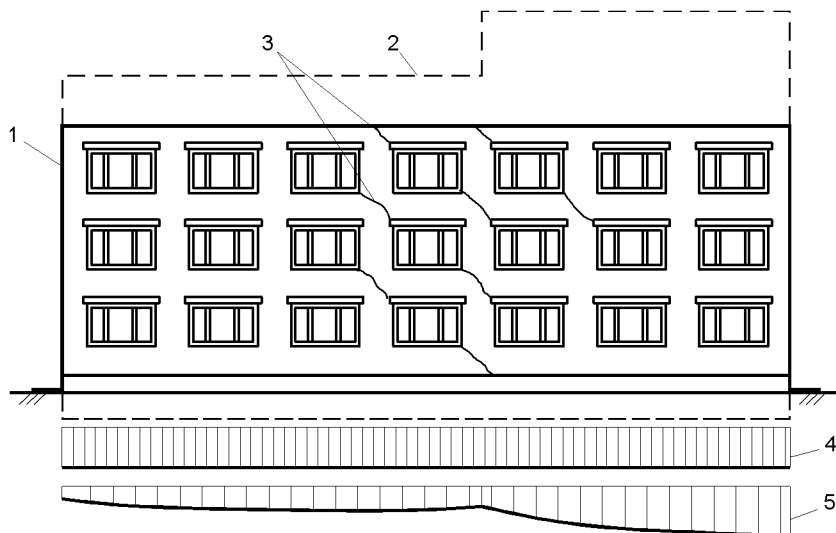


Рисунок 4.26 – Деформации при надстройке дополнительных этажей над зданием:

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

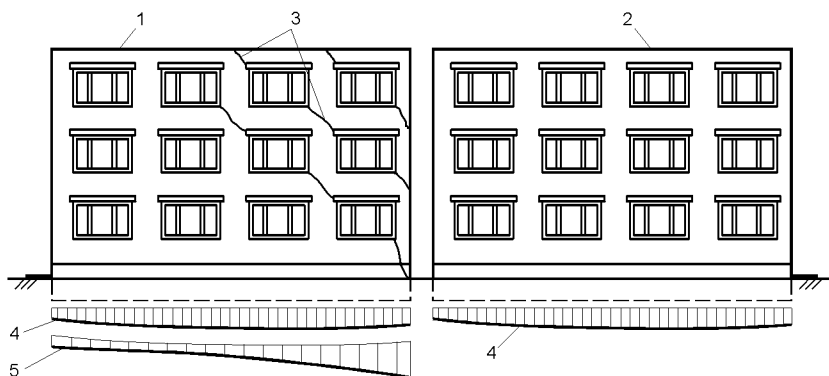


Рисунок 4.27 – Деформации при возведении здания в несколько очередей:

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

5 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Повреждения 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 всё 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 пятен, обесцвечивания 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 мице-

лиальные 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*, *Fusarium* (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 растворов 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, осаждающаяся 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 значительно, 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, си-

ловых 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 5.1.

Таблица 5.1 – Основные типы бактерий и условия их жизнедеятельности

Группа и тип микроорганизмов	Соединения	Продукт восстановления или окисления	Условия жизнедеятельности			
			pH		температура, °C	
			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 раз-

рушений. 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 (био пленки), сформированные колониями микроскопических грибов, водорослей и бактерий; они развиваются, преимущественно, в местах повышенного увлажнения бетонных конструкций и кирпичной кладки. Масовое развитие био пленок 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 водо-масляных 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.

О с н о в н ы е п р и ч и н ы 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 SO_2 , SO_3 , CO_2 , NO_2 , 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 ма-

териалов, 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 5.2.

Таблица 5.2 – 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, бетона, железобетона, природного камня, отделочные материалы	Отслоение штукатурки, шпаклевки, 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	
Примечание – Гипсокартон не имеет II степени повреждения.		

5.1 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 экзометаболиты 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.

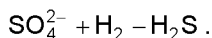
5.1.1 Биокоррозия под действием бактерий

Биокоррозию металлов могут вызывать различные роды бактерий.

В США ежегодно бактерии разрушают подземные трубы на 2 млрд дол. 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 её основные возбудители – 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 сульфатовосстанавливающих бактерий.

Из железобактерий наиболее изучена в физиологическом и биохимическом отношении неспоронная подвижная палочка *Thiobacillus ferrooxidans*, окисляющая серу. К железобактериям относятся также некоторые нитчатые бактерии из рода *Leptothrix*, с толстыми ржавого цвета капсулами (влагалищами), содержащими гидрат окиси железа; *Gallionella*, состоящая из спирально закрученных в виде пучков тончайших (0,01 мкм) нитей, образующих стебельки, 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 прорывливается 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.

5.1.2 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 миксоценозах 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.

5.2 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 lacrymans*, *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 губи-

тельна 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 мицеллий – тонкие ветвящиеся нити (гифы), которые растут своими концами и таким образом распространяются в питательной среде. Грибки размножаются обрывками мицеллия 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 pH 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. Наблюдения 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 раз-

рушение 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 – всё 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 5.3.

Таблица 5.3 – 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 4.14

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 производ-

ству 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 pH 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 см³ 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 т. д. 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 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-паточного 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-паточного производства входят сахара,

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.

5.3 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 микромицетов 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 органо-минеральных 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.

5.4 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, рас-

членя 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 приводят к ухудшению внешнего вида материала, но и нарушают его механические свойства.

5.5 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 однородность, 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.

5.6 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, искусствен-

ные 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 Bisselliella*. 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.

5.7 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 содержащееся в клетках – 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. к. 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 их основе 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 5.4.

Таблица 5.4 – 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.

5.7.1 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 м³ древесины с объемным весом 0,5 г/см³ выделяет 139 л воды при уменьшении веса древесины на 50 %.

В процессе разложения лигнинразрушающие грибы влажность древесины не повышают. Целлюлозоразрушающие грибы, наоборот, выделяют значительное количество воды, что практически приводит к увлажнению древесины. Например, *Merulius lacrymas* 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-сапрофиты 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 2–30 °C большинство грибов не растет и не разрушает древесину, при температурах от 3 до 10 °C 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 °C), например *Merulius lacrymans*, *Coniophora cerebella*, *Paxillus acheruntius*, *Fomes annosus*, *Corticium laeve*, *Phellinus pini* и др .

2 Грибы, для которых желательны средние температуры (24–32 °C), 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 °C), 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 неотапливаемых конструкциях. Чаще всего он встречается в полах первых этажей, *Poria vaporaria* – 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 pH субстрата, т. е. степень кислотности или щелочности питательной среды, в данном случае древесины. Установлено, что грибы способны регулировать pH среды в определенных пределах, причем целлюлозоразрушающие грибы понижают кислотность среды до более низких значений pH, чем лигнинразрушающие. Лигнинразрушающие грибы, в частности грибы-паразиты, регулируют среду до значений pH, 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 pH 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 жиз-

недеятельности грибов отражается присутствие соединений натрия, магния, фосфора, калия, кальция и целого ряда других веществ в микро-дозах. 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

не большое 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 в глубь 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 в глубь 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 в глубь 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.

Подслонная 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 *побурение*. Заболонь окрашивается в серые и буроватые тона, на фоне которых, как результат развития грибов, могут появляться коричневые, лиловые 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 ок-

раску заболони сосны, практически не изменяет водопоглощение древесины и ее стойкость 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, гриб *Coniophora puteana* разрушает целлюлозу, а лигнин остается без изменений, другой гриб *Serpula lacrimans* разрушает именно лигнин.

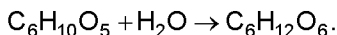
В последние годы исследователи начали изучать другую форму разрушения древесины – гнили, называемые *Soft rot*, которые размягчают поверхность материала с четким разделением гниющей и здоровой древесины.

Возбудителями умеренной гнили являются комплексы из некоторых несовершенных грибов, бактерий, водорослей.

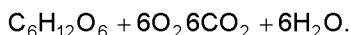
Грибы умеренной гнили. Умеренная гниль часто встречается и в деревянных элементах конструкций, постоянно омываемых водой, таких как градирни, деревянные трубы, подводные части речных и морских сооружений, детали бань. Этой гнилью поражаются деревянные части, находящиеся в контакте с землей: подземные 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 5.1). *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.

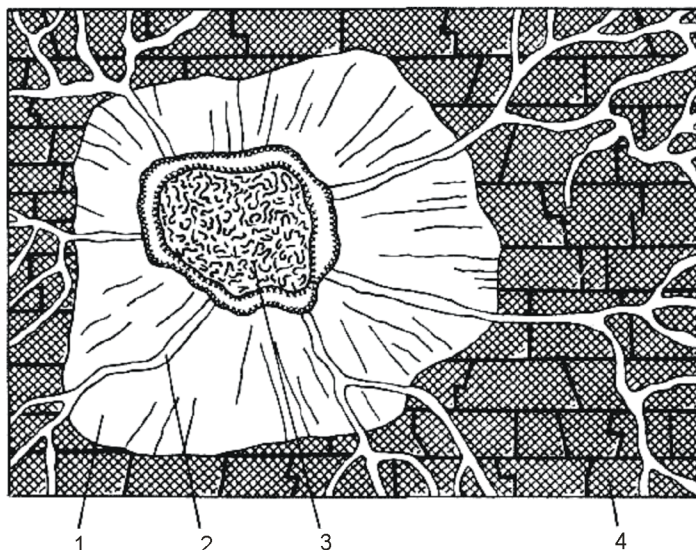


Рисунок 5.1 – Общее схематическое строение домового гриба:

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, эллипсовидные, бобовидные, цилиндрические и т. д.), размерами 2–12 мм, самых различных расцветок. В 1 мм³ 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 м³ 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 энзимов, 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 pH, 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 $pH = 3,0 \dots 6,6$; развитие их прекращается при $pH_{\min} = 1,5 \dots 3,0$ 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 всё 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 (*Hymenomycetales*), 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 5.2).

а)



б)



в)



Рисунок 5.2 – 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 (тяжи) – 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 5.3).

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 Vaillantii (DC. ex Fr.) Bond, Syn. Poria Vaillantii 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 5.3 – 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.) Cke (рисунок 5.4).

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 розоватой, 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, половин-

чатое, 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 5.4 – 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 5.5). Плодовые тела – в

виде шляпок диаметром 2–6 см, тонкие, мясистые, различной формы; обычно – вееровидные, раковинovidные, 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 ко- нец – 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 %.



Рисунок 5.5 – 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 *Telephoraceae* – 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 cerebella (Pers.) Schroet. Syn. Coniophora puteana Fr. (рисунок 5.6).

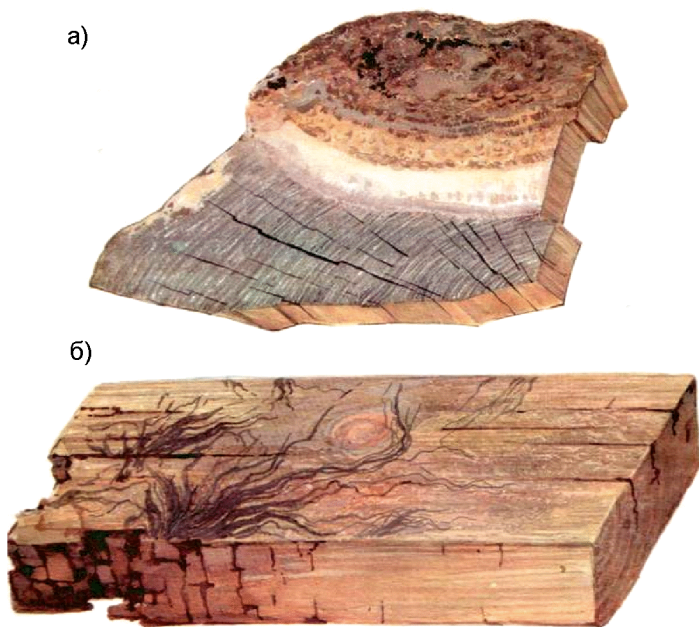


Рисунок 5.6 – Пленчатый домовый гриб –
Coniophora puteana Fr.:

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.) Massee 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 5.5.

Таблица 5.5 – 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 5.6.

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 5.6 – 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	шнур-тяги			
Настоящий домовый Серпилья (Serpilium laetum)	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-тепелые пленки, легко отслаивается от разрушенной древесины. Нижняя сторона пленок шелковистая, серебристого оттенка	Плоские или выпуклые, овального сечения, диаметром до 8 мм. Вначале гибкие, при подсыхании становятся ломкими	25–30	В стенах, полах, перегородках, реже в чердачных конструкциях	Вначале желтоватая, потом буреет, при высыхании образуются глубокие трещины, распадаются на отдельные крупные четырехугольные призмы
Белый домовый (Fibulopora 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, большой 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 (Coprinopsis rubeola)	Распростертое, мягкое, кожистое, легко отделяющееся от древесины, цвет белый, затем становится темного-коричневым с беловатым краем. На поверхности 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 (Paxillus sapidissimus)	Мясистая круглая или веерообразная шляпка охристо-желтого цвета с загнутыми краями и боковой ножкой или без нее. Пластинки волнистые	Едва заметные веерообразные нити зеленовато-желтого цвета, исходящие из одной точки. При отмирании становятся темными, почти черными, пыльные ватообразные скопления отсутствуют	Тонкие, ветвистые, с 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 бурый. Трещины и призмы мелкие

5.7.2 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 для нормальной активности 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, обычные 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 насеко-

мых, 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 r (рисунок 5.7). 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 5.7 – 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 5.8). 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 5.8 – 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 5.9).

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 5.10). Ходы личинок круглые и в основном забиты экскрементами.

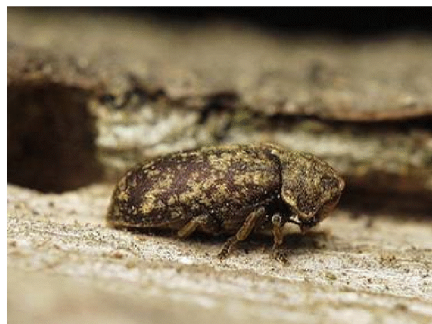


Рисунок 5.9 – Пестрый точильщик
(*Xestobium rufovillosum* Degeer. syn.
Anobium tessellatum)

Рисунок 5.10 – 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.

Домовый 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 имеет два темных бугорка (рисунок 5.11).

Длина самок составляет от 10 до 25 мм, самцов – от 8 до 16 мм. Длина личинки цвета слоновой кости достигает 30 мм (рисунок 5.12).



Рисунок 5.11 – Домовый жук-дровосек (*Hylotrupes bajulus*)



Рисунок 5.12 – 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 пунк-тировке (рисунок 5.13). 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-желтоватобелая, 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 5.13 – Серый домовый усач – *Hylotrupes bajulus* L. Syn. *Callidiutn bajulum* L.



Рисунок 5.14 – Одноцветный домовый усач – *Stromatium unicolor* 01. Syn. *Stromatium fulvum* Vill

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.

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 5.14). Жук длиной 16–32 мм; голова небольшая, со сравнительно короткими челюстями, между усиками широкая борозда, усики длин-

ные 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.

Волосистой покров тела нежный желтый или бледно-желтый, негустой: всё 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 лежащими волосками желтовато-сероватого, беловато-серого или желтова-

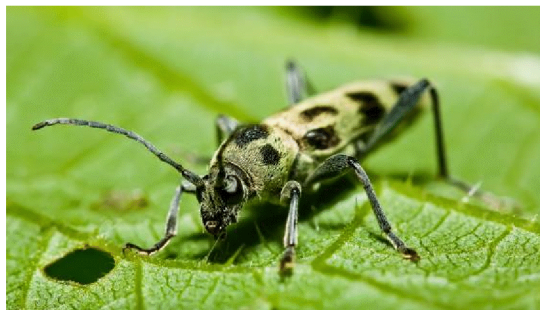


Рисунок 5.15 – Усач Фальдермана – *Chlorophorus Faldermanni* Fald.

то-белого, по большей части бледного цвета. Ноги и усики окрашены несколько светлее туловища, более красноватые или желтоватые (рисунок 5.15). 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 5.16). Личинка

молочно-белая,

слегка изогнутая, безногая,

длиной 2,5–3 мм. Яйца му-

тно-белые, длиной 0,3–0,4

мм. Долгоносик-трухляк по-

ражает только хвойную

древесину (сосну, ель и

др.). Оптимальными усло-

виями развития являются

абсолютная влажность дре-

весины 20–35 % и темпе-

ратура воздуха 10–25 °С.

Разрушенная древесина

превращается в труху, в

которой иногда трудно

найти отдельные личиноч-

ные ходы, характерные для всех прочих жуков. Особенно часто долгоно-

сиком-трухляком поражаются деревянные элементы кухонь, прачечных, ванны и других мест.



Рисунок 5.16 – Долгоносик-трухляк –
Codiosoma 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) высокоразвитая 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 5.17–5.19):

– 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 надземные гнезда (термитники), достигающие огромных размеров в тропических странах и образу-

ющие 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 5.17 – Термиты



Рисунок 5.18 – Солдат термита
Coptotermes formosanus



Рисунок 5.19 – 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 вре-

дители 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 juvencus*) – 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 5.20).

При откладывании яиц самка своим рогохвостом проделывает в коре или заболони древесины отверстия, в которые откладывает яйца (поодиночке). Каждая самка откладывает более 150 яиц.

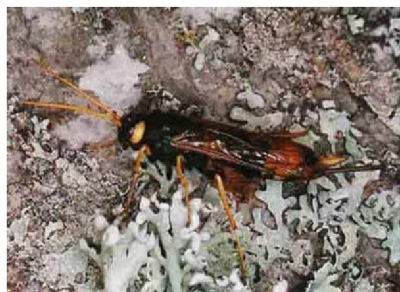
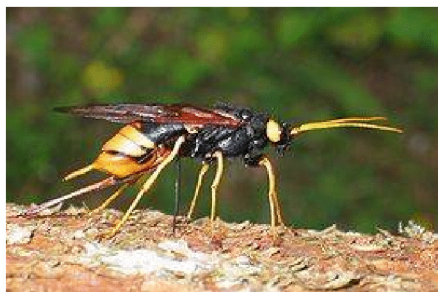


Рисунок 5.20 – Желтый еловый рогохвост (*Sirex gigas*)

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 рогохвост нападает на хвойные растущие деревья или на свежесрубленный лесоматериал.

5.8 Биокоррозия и человек

5.8.1 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 из-

менению 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 Второй группе влияний свойственно сочетание 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 неблагоприятно 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 всё 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 влагосборниках 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».

5.8.2 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*, распространенные на обоих американских континентах и в Северной Африке и вызывающие гистоплазмоз, и *Coccidioides immitis*, распространенные в некоторых районах США, вызывающие 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. Ранее был широко распространен фавус (парша), в прошлом и в настоящее время 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 и 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 – 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, что 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 полость, 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 XIX веке и

в первой половине XX 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 XX 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 всё 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. 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.

Всё 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 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 – всё 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 всё большее место. Это доказано целым рядом исследований в России и за ее пределами, а также подтверждается и тем, что количество только больничных 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 микрометров в диаметре 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

5.8.3 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, во время 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 дыха-

ния. Аспергиллёзная пневмония не в виде вспышки, а у отдельных больных, постоянно регистрируется в больницах городов. 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 её 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 убирать мусор 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 био-

повреждений 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 началось 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.

5.8.4 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 больными, 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 проте-

кают 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 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.

6 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ОТ СОВМЕСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

6.1 Фундаменты

Фундаменты 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.

6.2 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 ря-

дом 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 кирпич, керамический кирпич и шлакоблоки);
- использование каменных материалов не по назначению (например, силикатный кирпич в санузлах 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 дымо-вентиляционными 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 их периодическое 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 переменного 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 бревенчатых (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.

6.3 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.

6.4 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.

6.5 Перекрытия (покрытие)

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, воздействуя 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.

6.6 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:

- разрывы 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.

6.7 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 внеуловом 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 приложении Г.

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 лещадек 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.), 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 полок 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 полок, стенок и ребер жесткости от воздействия высоких температур при пожаре;
- поражение коррозией полок 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 ослабляются, шипы выпадают из своих гнезд, расшатываются скобы. Иногда концы балок перед косой подпоркой скалываются, если плоскость скалывания коротка 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.

6.8 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.

6.9 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:

- загнивание 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 полотен, 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 полотен 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 вовнутрь производственных помещений происходит из-за неплотностей притвора и разрушения стекольного заполнения фонарей.

6.10 Полы

Полы помещений гражданских и промышленных зданий предназначены для восприятия и перераспределения нагрузок от людей, оборудования, транспорта и складироваемых 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. связаны 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 пологового 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 покоробленность участков покрытия может быть связана с укладкой паркета с зазорами между планками меньше допустимых и попаданием влаги на планки паркета, не покрытые лаком или мастикой.

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 задиоров 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 *кислитолитовых* полов:

- выпучивание;
- деформация поверхности.

В ксилолитовых полах выпучивание и деформация поверхности наблюдаются вследствие неправильного устройства основания, загрязнения его или зыбкости, а также неправильного состава ксилолитовой смеси.

6.11 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 кровельного 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, разрушение 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 нали-

нием 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 заложённой 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, снега, солнечной радиации.

Основным повреждением утеплителя является его повышенная влажность, которая 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 лежащих 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 закреплением или разрушением (в том числе вследствие коррозии) кляммеров (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, воздухоборников, 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, больший требуемого 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 ветром плохо закрепленных деталей, 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, обусловленное, 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 элементы 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 парапетами, 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.

7 ДЕФЕКТЫ – ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Дефекты 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. При этом 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.

7.1 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 7.1.



Рисунок 7.1 – Фрагмент общего вида цеха изнутри на участке обрушения:
обрушение и полное разрушение двух крайних плит покрытия

Фрагменты поврежденных конструкций представлены на рисунках 7.2, 7.3.



Рисунок 7.2 – Фрагмент участка опирания фермы:
оголение и пластинчатая коррозия хомутов; отдельных участков конструктивной
и рабочей арматуры; разрушение бетона защитного слоя



Рисунок 7.3 – 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 произошли 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 ТКП 45-1.04-305-2016;
- 43 % (10 штук) – в неудовлетворительном состоянии, что соответствовало IV категории технического состояния конструкций согласно ТКП 45-1.04-305-2016;
- 14 % (3 штуки) – в предаварийном состоянии, что соответствовало V категории технического состояния конструкций согласно ТКП 45-1.04-305-2016.

Фрагменты стоек представлены на рисунках 7.4–7.6.



Рисунок 7.4 – Фрагмент оголовка стойки:
пластинчатая коррозия опорного столика значительной степени интенсивности



Рисунок 7.5 – Фрагмент опорной части стойки:
пластинчатая коррозия двутавра и опорной пластины
значительной степени интенсивности



Рисунок 7.6 – 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 привели к интенсивному развитию пластинчатой коррозии металла, повлекшему деформацию стойки и полную потерю несущей способности.

7.2 Обрушение участка покрытия крытого рынка

14.03.2005 г. произошло обрушение участков покрытия рынка площадью до 54 м² 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 7.7.



Рисунок 7.7 – Состав покрытия

Проектный состав покрытия представлен на рисунке 7.8.



Рисунок 7.8 – Состав покрытия (проектный)

Фрагменты покрытия представлены на рисунках 7.9, 7.10.

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 7.11, 7.12);



Рисунок 7.9 – Фрагмент участка обрушения (вид снизу):
обрушение и полное разрушение двух участков покрытия



Рисунок 7.10 – Фрагмент покрытия на участке обрушения (вид сверху):
разрушение кронштейнов и срез балок



Рисунок 7.11 – Фрагмент балки покрытия:
интенсивная коррозия и полное разрушение кронштейна



Рисунок 7.12 – 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 7.13);



Рисунок 7.13 – Фрагмент балки покрытия и разрушенного коррозией участка обвязки

– участки деревянного настила подверглись гниению;
– утеплитель на отдельных участках находится в переувлажненном состоянии;
– деревянные клееные конструкции находятся в переувлажненном состоянии (рисунок 7.14).

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;

- 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 $0,7 \text{ г/см}^3$);
- дополнительная нагрузка в виде дождя высокой степени интенсивности, продолжавшегося (на момент обследования) не менее суток.



Рисунок 7.14 – Фрагмент подшивки:
переувлажнение подшивки и развитие гниения на отдельных участках

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.

7.3 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. Междуэтажные 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 7.15.



Рисунок 7.15 – Фрагмент главного фасада здания:
обрушение участка крыши и отдельных конструкций

План здания с выделенным участком обрушения представлен на рисунке 7.16.

Фрагменты конструкций на участке обрушения представлены на рисунках 7.17–7.24.

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.

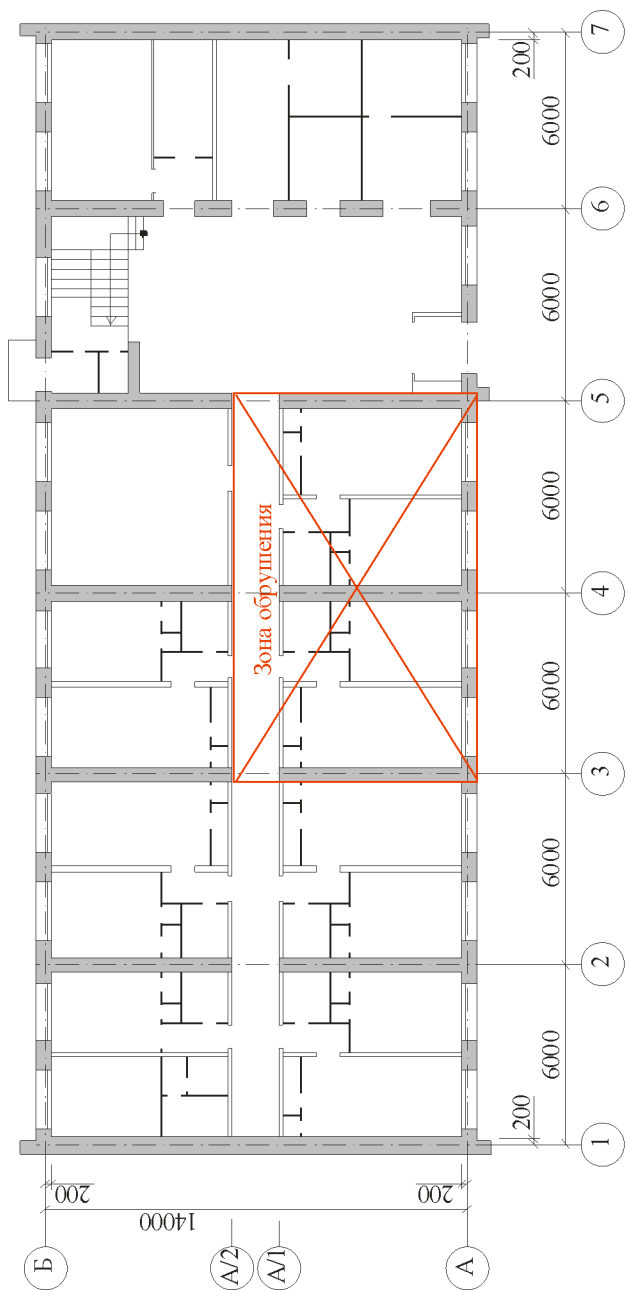


Рисунок 7.16 – План здания в уровне 1-го этажа



Рисунок 7.17 – Общий вид участка обрушения:
обрушение и полное разрушение участков конструкций перекрытий и крыши, стен



Рисунок 7.18 – Общий вид участка обрушения:
разрушение поперечных стен, просадка фундаментов и плит перекрытия
технического подполья



Рисунок 7.19 – Общий вид участка обрушения:
излом и полное разрушение отдельного участка плиты



Рисунок 7.20 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:
отрыв и смещение кирпичного столба с плитой перекрытия; излом плиты на опоре



Рисунок 7.21 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:
разрушение участка кладки; недостаточное опирание плиты перекрытия
и ее смещение с поворотом



Рисунок 7.22 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:
обрушение кладки; смещение плит перекрытия; выпадение отдельной плиты



Рисунок 7.23 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:
некачественная перевязка рядов кладки; отсутствие раствора на глубину до 80 мм;
смещение плиты перекрытия



Рисунок 7.24 – Фрагмент участка перекрытия технического подполья:
смещение плит; излом и разрушение участка плиты перекрытия

Характер выявленных в результате общего обследования поврежденных 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. $(250 \div 370) \times 380$ мм, деревянные столбы $\varnothing 180 \div 220$ мм (рисунок 7.25). 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 7.26)];

- 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 7.27 и 7.28), что соответствует V категории технического состояния конструкций согласно ТКП 45-1.04-305-2016.

Состояние внутренних несущих стен подвальной части в целом – неудовлетворительное, что соответствует IV категории технического состояния согласно ТКП 45-1.04-305-2016.

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 ТКП 45-1.04-305-2016.

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 ТКП 45-1.04-305-2016.



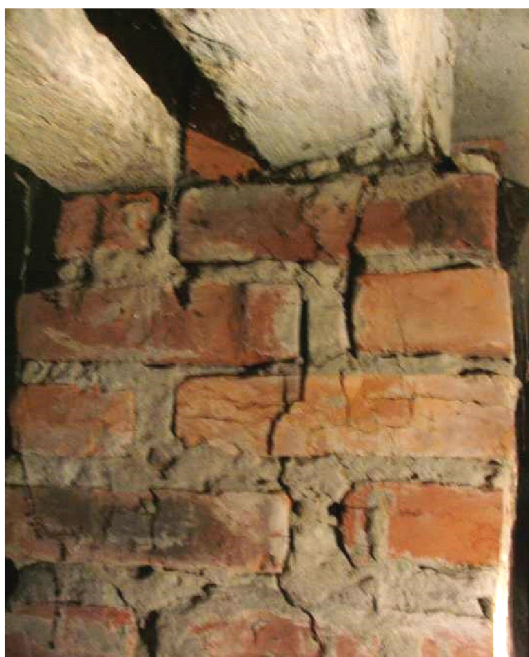
Рисунок 7.25 – Дополнительные столбы из кирпича керамического полнотелого:
отсутствие анкеровки столбов к стенам



Рисунок 7.26 – 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 ТКП 45-1.04-305-2016.

Рисунок 7.27 –
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 ТКП 45-1.04-305-2016.

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...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...3,10 МПа, что соответствует марке по прочности на сжатие, равной М25 согласно СТБ 1307-2002);

- применение фундаментных стеновых блоков нестандартных габаритных размеров;

- 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 (см. совместно с рисунком 7.16);

- неудовлетворительное техническое состояние водоотводящих и водоподводящих коммуникаций (постоянные протечки и, как следствие, увлажнение конструкций технического подполья).



Рисунок 7.28 – Фрагмент участка опирания прогонов:
отсутствие опорных подушек; разрушение и расслоение кладки под прогонами;
смещение прогона

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 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.

7.4 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 7.29.



Рисунок 7.29 – 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 7.30–7.32).



Рисунок 7.30 – Фрагмент обрушившегося участка покрытия: обрушение прогона, двух плит покрытия; обрушение и полное разрушение плиты покрытия



Рисунок 7.31 – Фрагмент обрушившегося участка: разрушение опорной зоны плит покрытия (излом продольного ребра), следы ремонта плит в процессе эксплуатации (заделка трещин раствором)



Рисунок 7.32 – 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 стальной 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 стальной 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 стальной 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 об-

разцов кирпича на прочность показали, что прочность образцов кирпича на сжатие составила $R = 2,36...3,70$ МПа, это 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, это соответствует марке раствора по прочности на сжатие М50 согласно СТБ 1307-2002) в целом – неудовлетворительное, что соответствует IV категории технического состояния согласно ТКП 45-1.04-305-2016.

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 ТКП 45-1.04-305-2016, а отдельных элементов – предаварийное, что соответствует V категории технического состояния согласно ТКП 45-1.04-305-2016.

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 ТКП 45-1.04-305-2016.

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.

7.5 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 7.33.



Рисунок 7.33 – 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 7.34;

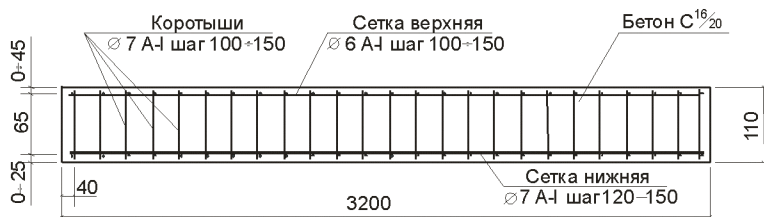


Рисунок 7.34 – Сечение балконной плиты

- 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 7.35–7.38.



Рисунок 7.35 – Фрагмент опорной балки балконной плиты: пластинчатая коррозия стержней; непроектное положение коротышей



Рисунок 7.36 – Фрагмент балконной плиты:
нарушение сцепления цементного камня с крупным заполнителем;
полное разрушение и расслаивание бетона;
пластинчатая коррозия арматурных стержней



Рисунок 7.37 – Фрагмент балконной плиты:
полное разрушение арматурных стержней коррозией



Рисунок 7.38 – 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.

8 МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Техническая диагностика зданий и сооружений – комплекс мероприятий, направленных на определение технического состояния конструктивных элементов, их пригодности к дальнейшей эксплуатации, выявление имеющихся дефектов, повреждений и причин их возникновения. *Техническая диагностика* строительных конструкций зданий содержит методы и способы контроля и установления качества строительных материалов, изделий, конструкций и видов работ, допускаемых отклонений от проектных данных, несущей способности и эксплуатационной пригодности отдельных строительных конструкций, конструктивов и зданий в целом. Основной целью диагностики строительных конструкций зданий является определение соответствия между их реальным техническим состоянием, фактической несущей способностью, эксплуатационной пригодностью и их расчетными схемами, архитектурно-строительными и другими нормативными требованиями современной эксплуатации.

Диагностика технического состояния строительных конструкций зданий осуществляется путем объединения взаимодополняющих обследовательских, расчетных и аналитических процедур. Перечень и полнота указанных процедур в каждом конкретном случае определяются специалистами, проводящими обследования, с учетом конкретных целей и задач диагностики здания.

Техническая диагностика выполняется как **разрушающими** (деструктивными) методами, в основном при определении прочности материалов, так и **неразрушающими** (адеструктивными). В процессе обследования зданий и сооружений используются, в основном, неразрушающие методы исследований, информативность которых в отдельных случаях дополняется результатами разрушающих испытаний образцов материала обследуемых конструкций.

8.1 Неразрушающий контроль

Неразрушающий контроль (НК) – установление свойств и параметров объекта, при котором не должна быть нарушена его пригодность к использованию и эксплуатации. Он используется в строительстве, машиностроении, энергетике, металлургии и других отраслях. К средствам

неразрушающего контроля относят контрольно-измерительную аппаратуру, в которой используют проникающие поля, излучения и вещества для получения информации о качестве исследуемых материалов и объектов. Классификация видов и методов неразрушающего контроля приведена в ГОСТ 18353. В соответствии со стандартом неразрушающий контроль подразделяют на девять видов (таблица 8.1) в зависимости от физических явлений, положенных в его основу: *электрический, тепловой, радиационный, вихретоковый, радиоволновый, оптический, акустический, проникающими веществами и магнитный*. Каждый вид неразрушающего контроля осуществляют методами, которые классифицируют по следующим признакам: *характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом; первичным информативным параметрам; способам получения первичной информации*.

8.1.1 Краткая характеристика основных методов неразрушающего контроля

Электрический метод основан на регистрации параметров электрического поля, взаимодействующего с контролируемым объектом (собственно электрический метод), или поля, возникающего в контролируемом объекте в результате внешнего воздействия (термоэлектрический метод). Он применяется для контроля диэлектрических и проводящих материалов. Методы электрического контроля (*электростатический порошковый, термоэлектрический, электроискровой, электрического потенциала, емкостной*) позволяют определять дефекты различных материалов, измерять толщины стенок, покрытий и слоев, сортировать металлы по маркам, контролировать диэлектрические или полупроводниковые материалы. Недостатками перечисленных методов электрического НК являются необходимость контакта с объектом контроля (ОК), жесткие требования к чистоте поверхности изделия, трудности автоматизации процесса измерения и зависимость результатов измерения от состояния окружающей среды.

В основе **теплого метода** лежит регистрация изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов. Он применим к объектам из любых материалов. Распределение температур в изделии зависит от его свойств: геометрических параметров, химического состава, наличия дефектов и других. По характеру взаимодействия теплового поля с ОК различают методы *пассивный* (на объект не воздействуют внешним источником энергии) и *активный* (объект нагревают или охлаждают от внешнего источника). Недостатком этого метода контроля является необходимость использования контактных устройств, что затрудняет процессы автоматизации при непрерывных измерениях и контроле

движущихся объектов. При бесконтактных измерениях возникают достаточно жесткие требования к чистоте окружающей среды.

Таблица 8.1 – Классификация методов неразрушающего контроля

Вид контроля	Классификация методов НК		
	по характеру взаимодействия физических полей с контролируемым объектом	по первичному информативному параметру	по способу получения первичной информации
Электрический	Электрический, Трибоэлектрический, Термоэлектрический,	Электропотенциальный, Электроёмкостный	Электростатический порошковый, Электропараметрический, Электроискровой, Рекомбинационного излучения, Экзоэлектронной эмиссии, Шумовой, Контактной разности потенциалов
Тепловой	Тепловой контактный, Конвективный, Собственного излучения,	Термометрический, Теплометрический	Пирометрический, Жидких кристаллов, Термохромов, Термобумаг, Термолюминофоров, Термозависимых параметров, Оптический, Интерференционный, Калориметрический
Радиационный	Прошедшего излучения, Рассеянного излучения, Активационного анализа, Характеристического излучения, Автоэмиссионный	Плотности потока энергии, Спектральный	Сцинтилляционный, Ионизационный, Вторичных электронов, Радиографический, Радиоскопический
Вихрековый	Прошедшего излучения, Отраженного излучения	Амплитудный, Фазовый, Частотный, Спектральный, Многочастотный	Трансформаторный, Параметрический

Радиоволновой	Прошедшего излучения, Отраженного излучения, Рассеянного излучения, Резонансный	Амплитудный, Фазовый, Частотный, Временной, Поляризационный, Геометрический	Детекторный (диодный), Болометрический, Термисторный, Интерференционный, Голографический, Жидких кристаллов, Термобумаг, Термолюминесцентных, фотоуправляемых полупроводниковых пластин, Калориметрический
Оптический	Прошедшего излучения, Отраженного излучения, Рассеянного излучения, Индукцированного излучения	Амплитудный, Фазовый, Частотный, Временной, Поляризационный, Геометрический, Спектральный	Интерференционный, Нефелометрический, Голографический, Рефрактометрический, Рефлексометрический, Визуально-оптический
Акустический	Прошедшего излучения, Отраженного излучения (эхо-метод), Резонансный, Импедансный, Свободных колебаний, Акустико-эмиссионный	Амплитудный, Фазовый, Временной, Частотный, Спектральный	Пьезоэлектрический, Электромагнитно-акустический, Микрофонный, Порошковый

Окончание таблицы 8.1

Вид контроля	Классификация методов НК		
	по характеру взаимодействия физических полей с контролируемым объектом	по первичному информативному параметру	по способу получения первичной информации
Проникающими веществами	Молекулярный	Жидкостный, Газовый	Яркостный (ахроматический), Цветной (хроматический), Люминесцентный, Люминесцентно-цветной, Филтрирующихся частиц, Масс-спектрометрический, Пузырьковый, Манометрический, Галогенный
Магнитный	Магнитный	Коэрцитивной силы, Намагниченности, Остаточной индукции, Магнитной проницаемости, Напряженности, Эффекта Баркгаузена	Индукционный, Феррозондовый, Магнитографический, Пондеромоторный, Магниторезисторный

Радиационный метод основан на регистрации и анализе проникающего ионизирующего излучения после взаимодействия его с ОК. В зависимости от природы ионизирующего излучения вид контроля подразделяют на подвиды: *рентгеновский, гамма-, бета- (поток электронов), нейтронный*. Наиболее широко используют для контроля рентгеновское и гамма-излучения. Их можно использовать для контроля объектов из самых различных материалов, подбирая благоприятный частотный диапазон. Эти методы в основном применяются в дефектоскопии, измерении геометрических и структурных особенностей материалов. К недостаткам данных методов относятся повышенные требования к технике безопасности, сложность, дороговизна и громоздкость аппаратуры, а также ограничения, связанные со сравнительно небольшими толщинами ОК.

В основе **радиоволнового метода** лежит регистрация изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с объектом контроля. Обычно используются волны сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона с длиной от 1 до 100 мм. Контролируют изделия из материалов, где радиоволны не очень сильно затухают: диэлектрики (пластмассы, керамика, стекловолокно), магнитодиэлектрики (ферриты), полупроводники, тонкостенные металлические объекты. По характеру взаимодействия с ОК различают *методы прошедшего, отраженного, рассеянного излучения и резонансный*. При использовании этого вида контроля наличие дефектов в исследуемых изделиях приводит к появлению дополнительных отражений электромагнитного поля, которые изменяют интерференционную картину и вызывают дополнительные потери энергии. Этот метод применяется в дефектоскопии диэлектриков, а также при исследовании состояния поверхности проводящих тел. Недостатком СВЧ метода является сравнительно низкая разрешающая способность устройств, реализующих этот метод, обусловленная малой глубиной проникновения радиоволн в металлы.

Оптический метод основан на наблюдении или регистрации параметров оптического излучения, взаимодействующего с ОК. Это взаимодействие связано с поглощением, отражением, рассеиванием, дисперсией, поляризацией и другими оптическими эффектами. Данный метод применяют для измерения геометрических параметров изделий, контроля состояния поверхности и обнаружения поверхностных дефектов. Оптические методы имеют очень широкое применение благодаря большому разнообразию способов получения первичной информации. Возможность их применения для наружного контроля не зависит от материала объекта. Оптические методы широко применяют для контроля прозрачных объектов. В них обнаруживают макро- и микродефекты, структурные неоднородности, внутренние напряжения. Недостатками оптических методов являются узкий диапазон контролируемых параметров,

жесткие требования к состоянию окружающей среды и чистоте поверхности изделия.

В основе **акустического метода** лежит регистрация параметров упругих волн, возникающих или возбуждаемых в объекте. Чаще всего используют упругие волны ультразвукового диапазона (с частотой колебаний выше 20 кГц). Этот метод также называют ультразвуковым. Главная отличительная особенность данного метода состоит в том, что в нем применяют и регистрируют не электромагнитные, а упругие волны, параметры которых тесно связаны с такими свойствами материалов, как упругость, плотность, анизотропия (неравномерность свойств по различным направлениям) и др.

Акустические свойства твердых материалов и воздуха настолько сильно отличаются, что акустические волны отражаются от тончайших зазоров (трещин, непроваров) шириной 10^{-6} – 10^{-4} мм. Этот вид контроля применим ко всем материалам, достаточно хорошо проводящим акустические волны: металлам, пластмассам, керамике, бетону и т. д. Колебания в исследуемый объект вводятся в импульсном или непрерывном режимах с помощью пьезоэлектрического преобразователя сухим контактным, контактным через жидкую среду или бесконтактным способом через воздушный зазор с помощью электромагнитно-акустического преобразователя. С помощью акустических методов измеряют толщины стенок изделий, выявляют разнообразные дефекты и неоднородности структуры, определяют геометрические характеристики изделий. Эти методы имеют следующие недостатки: необходимость акустического контакта преобразователя с ОК, повышенные требования к чистоте поверхности изделия, влияние сторонних шумов на результаты измерений, воздействие температуры изделия и др. Все эти недостатки приводят к возрастанию погрешностей измерения.

Неразрушающий контроль **вихретоковым методом** основан на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте. В этом методе используется эффект воздействия вихревых токов, возбуждаемых в проводящем образце, на электрические параметры преобразователя. Его применяют только для контроля изделий из электропроводящих материалов. Вихревые токи возбуждают в объекте с помощью преобразователя в виде катушки индуктивности, питаемой переменным или импульсным током. Приемным преобразователем (измерителем) служит та же или другая катушка.

Интенсивность и распределение вихревых токов в объекте зависят от его геометрических размеров, электрических и магнитных свойств материала, от наличия в материале нарушений сплошности, взаимного расположения преобразователя и объекта, т. е. от многих параметров.

К числу главных достоинств вихретокового метода следует отнести его универсальность и широкие функциональные возможности, которые

до настоящего времени еще не до конца использованы. В то же время применение этого метода затрудняется тем, что при контроле одного параметра другие являются мешающими. Для разделения параметров используют раздельное или совместное измерение фазы, частоты и амплитуды сигнала измерительного преобразователя, подмагничивание изделия постоянным магнитным полем, ведут контроль одновременно на нескольких частотах, применяют спектральный анализ. Получаемые таким образом выходные параметры преобразователя одновременно несут информацию об удельной электрической проводимости и магнитной проницаемости материала, о состоянии поверхности изделия и наличии дефектов, о величине зазора между изделием и преобразователем, а также о геометрических размерах изделия. Анализ измеренных параметров позволяет определять геометрические размеры изделий (толщину стенки при одностороннем доступе), оценивать химический состав, структуру материала изделия, внутренние напряжения, обнаруживать поверхностные и подповерхностные (на глубине в несколько миллиметров) дефекты.

Контроль вихревыми токами выполняют без непосредственного контакта преобразователей с объектом. Это позволяет вести контроль при взаимном перемещении преобразователя и объекта с большой скоростью (до 60 м/с) и облегчает тем самым автоматизацию контроля.

В основе **метода проникающих веществ** лежит явление капиллярного проникновения хорошо смачивающих пробных веществ (жидкости) в полость дефектов объема контроля. Его делят на методы *капиллярные и течеискания*. Капиллярные методы основаны на капиллярном проникновении в полость дефекта индикаторной жидкости (керосина, скипидара и др.), хорошо смачивающей материал объекта. Их применяют для обнаружения слабо видимых или невидимых невооруженным глазом поверхностных дефектов.

Методы течеискания используют для выявления только сквозных дефектов в перегородках. В полость дефекта пробное вещество проникает либо под действием разности давлений, либо под действием капиллярных сил однако в последнем случае нанесение и индикацию пробных веществ выполняют по разные стороны перегородки. Метод требует значительных временных затрат на пропитку и проявление индикаторной жидкости, что приводит к снижению производительности контроля и сложности его автоматизации.

Магнитный метод основан на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом. Как правило, его применяют для контроля объектов из ферромагнитных материалов. По характеру взаимодействия физического поля с объектом этот вид контроля не дифференцируют: во всех случаях применяют намагничивание объекта и измеряют параметры, используемые при контроле магнитными методами. Процесс намагничивания и перемагничивания ферромагнитного материала со-

про-вождается возникновением гистерезиса. Химический состав, структура, наличие несплошностей и другие свойства, которые требуется контролировать, обычно связаны с параметрами процесса намагничивания и петлей гистерезиса.

Магнитные методы применяют для измерения толщины неферромагнитного покрытия на ферромагнитном основании; для дефектоскопии поверхностных и подповерхностных участков ферромагнитных материалов (магнитопорошковый метод); для получения информации о магнитной проницаемости и ее изменении в зависимости от напряженности магнитного поля (индуктивный метод).

В общем случае при намагничивании объекта контроля, вблизи поверхности которого имеется несплошность (дефект), в области дефекта возникают пространственные аномалии напряженности магнитного поля. Появляются поля рассеяния. Изменение напряженности магнитного поля, точнее градиента напряженности, используют как первичный информационный параметр для выявления дефектов.

В основе **вибраакустического метода** лежит регистрация параметров вибраакустического сигнала, возникающего при работе ОК. Вибродиагностический метод работает при возникновении свободных и вынужденных колебаний в объекте контроля, поэтому чувствительность данного метода определяется способностью дефектов проявляться в виде упругих колебаний.

Областью применения являются объекты контроля, генерирующие ви-браакустический сигнал (двигатели, насосы, компрессоры, трубопроводы и др.). Недостатки метода: его применение может вызывать отрицательный экономический эффект; слабая чувствительность к изменениям сравнительно низкоуровневых частотных составляющих при оценке состояния по общему уровню вибрации; зависимость ряда диагностических признаков от индивидуальных особенностей агрегатов. Достоинства: этот метод контроля оборудования приносит наибольший эффект при непрерывном мониторинге эксплуатируемого оборудования; при вибромониторинге появляется возможность за наблюдением технического состояния функционирующего оборудования и возможность предсказания момента времени перехода его или любой его части в предельное состояние.

8.2 Неразрушающий контроль в строительстве

Выполнение строительно-монтажных работ, оценка их качества, диагностика технического состояния конструкций, грамотная эксплуатация зданий и сооружений невозможны без применения измерений различных параметров и показателей. Они выполняются с использованием различных средств измерений, действие которых основано на использовании разных методов неразрушающего контроля.

Контролируются такие параметры и показатели, как прочность бетона на сжатие, толщина защитного слоя, дефекты и повреждения бетона, расположение стальной арматуры, диаметр стальной арматуры и степень ее коррозионных повреждений; прочность на сжатие раствора и штучных стеновых материалов; влажность материалов; линейные и угловые размеры, отклонения элементов различных конструкций от горизонтали или вертикали; качество монтажа и несущая способность свай, выполненных из различных материалов; теплопроводность и термическое сопротивление широкого спектра конструкционных и теплоизоляционных материалов и др. Для оценки их значений, на сегодня, используются различные приборы и оборудование, принцип действия которых основан на вышеприведенных методах НК.

Все средства измерения, допущенные к применению на территории Республики Беларусь, должны быть поверены в соответствии с ТКП 8.003. Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с СТБ 8015.

Описание и технические характеристики отдельных приборов для неразрушающего контроля различных параметров и показателей приведены в приложении Д.

Наиболее часто при выполнении строительно-монтажных работ, диагностике технического состояния бетонных и железобетонных элементов и конструкций используется неразрушающий контроль при оценке прочности бетона на сжатие.

8.2.1 Неразрушающий контроль прочности бетона на сжатие

При всём многообразии контролируемых параметров контроль прочности бетона занимает особое место, поскольку при оценке состояния конструкции определяющим фактором является соответствие фактической прочности бетона проектным требованиям.

В соответствии с классификацией ГОСТ 18105 неразрушающие методы контроля прочности бетона разделены на *прямые неразрушающие* и *косвенные неразрушающие*. К прямым (методам местных разрушений) относятся: скалывание ребра, отрыв со скалыванием, отрыв металлических дисков; к косвенным – ударный импульс, упругий отскок, пластическая деформация, ультразвуковое обследование.

При обследовании бетонных и железобетонных конструкций используются различные методы неразрушающего контроля. При этом большая часть работ выполняется косвенными методами. Среди них наиболее распространенным на сегодняшний день являются ультразвуковой метод по ГОСТ 17624, методы ударного импульса и упругого отскока по ГОСТ 22690.

Неразрушающие механические методы определения прочности бетона основаны на связи прочности бетона с косвенными характеристиками прочности:

- метод упругого отскока – на связи прочности бетона со значением отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника). К его достоинствам относятся простота и высокая скорость исследования; к недостаткам – жесткие требования к процедуре подготовки контрольных участков и необходимость частой поверки оборудования;

- метод пластической деформации – на связи прочности бетона с размерами отпечатка на бетоне конструкции (диаметра, глубины и т. п.) или соотношения диаметра отпечатка на бетоне и стандартном металлическом образце при ударе индентора или вдавливании индентора в поверхность бетона. Его достоинствами являются простота и доступность оборудования; недостатком – невысокая точность результатов;

- метод ударного импульса – на связи прочности бетона с энергией удара и ее изменениями в момент соударения бойка с поверхностью бетона. К его достоинствам относятся простота, компактность оборудования и возможность одномоментной установки класса бетона по прочности на сжатие; к недостаткам – относительно невысокая точность;

- метод отрыва – на связи напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска. Его достоинствами являются возможность определения прочности бетона на сжатие густоармированных конструкций; он менее трудоемок, чем отрыв со скалыванием; недостатком – необходимость предварительной подготовки – диски нужно наклеивать на бетонную поверхность за 3–24 часа до проверки;

- метод отрыва со скалыванием – на связи прочности бетона со значением усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства. К его достоинствам относятся высокая точность; наличие общепринятых градуировочных зависимостей, зафиксированных ГОСТ; к недостаткам – трудоемкость и невозможность использовать в оценке прочности густоармированных сооружений, сооружений с тонкими стенами;

- метод скалывания ребра – на связи прочности бетона со значением усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции. Его достоинствами являются простота использования и отсутствие предварительной подготовки; недостатком – неприменимость метода при толщине слоя бетона менее 2 см либо если бетон существенно поврежден.

В общем случае неразрушающие механические методы определения прочности бетона являются косвенными неразрушающими методами определения прочности. Прочность бетона в конструкциях определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям.

Ультразвуковой метод основан на связи прочности бетона со значением скорости прохождения ультразвуковых волн. По технике проведения испытаний можно выделить сквозное ультразвуковое прозвучивание, когда датчики располагают с разных сторон тестируемого образца, и поверхностное прозвучивание, когда датчики расположены с одной стороны. Метод сквозного ультразвукового прозвучивания позволяет, в отличие от всех остальных методов неразрушающего контроля прочности, контролировать не только прочность в приповерхностных слоях бетона, но и прочность тела бетона конструкции. К его достоинствам относятся возможность выполнять оценку прочности неограниченное число раз и вести непрерывный контроль нарастания или снижения прочности; невысокая стоимость исследований, возможность оценки прочности глубинных слоев бетона; к недостаткам – повышенные требования к качеству поверхности бетона; высокая квалификация исполнителей.

Диапазон применения методов НК прочности бетона на сжатие (по ГОСТ 17624 и ГОСТ 22690) приведен в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Диапазон применения методов НК прочности бетона

Описание, технические характеристики и область применения наиболее распространенных приборов для неразрушающего контроля прочности бетона на сжатие приведены в приложении Д.

Наименование метода	Диапазон применения, МПа
Пластической деформации	5–50
Упругого отскока	5–50
Ударного импульса	10–70
Отрыва	5–60
Отрыва со скалыванием	5–100
Скалывания ребра	10–70
Ультразвуковой	10–40

8.3 Физико-химический анализ бетона

Неразрушающие методы контроля бетона позволяют оценивать отдельные параметры, такие как прочность на сжатие, влажность, наличие каверн, но они не дают возможность оценивать и прогнозировать состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре по сечению бетона, связанное с изменением структуры бетона под воздействием агрессивных свойств эксплуатационной среды.

Все бетонные и железобетонные конструкции, эксплуатирующиеся в воздушной среде, подвержены влиянию находящихся в воздухе кислот

газов. Их основную долю составляет углекислый газ, концентрация которого в обычном чистом воздухе составляет около 600 мг/м^3 , или 0,03 % по объему. Других кислых газов в воздухе обычно значительно меньшее количество, и их концентрации не превышают среднесуточных предельно допустимых значений, равных $0,0003\text{--}10 \text{ мг/м}^3$ 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, относящееся к коррозии бетона II вида – карбонизации бетона.

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 степени интенсивности. Развитие коррозионных процессов в стальной 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 стальной 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. 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 стальной арматуры начинается внутри бетона. Образующиеся продукты коррозии стали занимают в 2–2,5 раза больший объем, чем слой прокорродировавшего 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 стальной арматуре и ускоряет, как правило, ее коррозию. В дальнейшем, при отсутствии защитных и восстанавливающих мероприятий, развитие коррозии стальной арматуры приводит к отслаиванию и разрушению защитного слоя, нарушению сцепления стальной арматуры с бетоном и падению несущей способности конструкции. Для изгибаемых элементов потеря несущей способности от нарушения сцепления арма-

туры с бетоном составляет 30–35 %. Последующее интенсивное коррозионное разрушение стальной 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 всё 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 методами pH-метрии отличаются до нескольких раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в стальной 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 стальной 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 свежизготовленных 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 эффек-

тивной работы гидравлических насосов, обеспечивающих подсос воздуха в поры. Дождевые осадки и периодическая смена относительной влажности и температуры также будут способствовать возвратно-поступательно-му 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 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 свежееизготовленных образцов для бетонов различных классов по прочности на сжатие, а также длительно эксплуатируемых в различных атмосферных условиях ЖБЭ и ЖБК позволили автору предложить модель развития карбонизации во времени по сечению бетона. В соответствии с ней карбонизация бетона развивается по сложной экспоненциальной зависимости. Использование модели позволяет определить начальные показатели карбонизации для различных толщин защитного слоя, спрогнозировать развитие во времени степени карбонизации бетона, а также определить срок службы бетона до его полной карбонизации.

В основу исследования изменения физико-химических характеристик бетона в зоне расположения стальной арматуры положено использование методов рН-метрии, поскольку показатель рН является основной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты 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.

На основе анализа использования показателя КС, с учетом того, что при проектировании составов бетона даже на один класс бетона по прочности на сжатие, используется различное количество цемента, для объективной оценки карбонизации в любом сечении бетона предложено понятие степени карбонизации (показателя СК) как величины, определяющей процент гидроокиси кальция и гидратированных клинкерных материалов, перешедших в карбонаты на разной глубине бетона. Данный показатель не имеет никакого отношения к общепринятому понятию степени карбонизации, в соответствии с которым степень карбонизации бетона определяется количеством поглощенного бетоном CO_2 воздуха.

Изменение во времени показателя СК по сечению для различных классов бетонов по прочности и условий эксплуатации в общем виде описывается выражением

$$CK(l, t) = \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_3 \sqrt{t}) e^{\left(\frac{14,2 - \left(\frac{l+100}{5,05} \right)^{0,85}}{\alpha_4 \alpha} \right)} \quad (8.1)$$

где l – глубина сечения, мм; α – степень гидратации цемента, %; $\alpha_1 - \alpha_4$ – коэффициенты. Так, для классов бетона по прочности $C^{12}_{/15} - C^{30}_{/37}$ и эксплуатационных условий открытой атмосферы значения коэффициентов $\alpha_1 - \alpha_4$: $\alpha_1 = 2,39 \dots 4,32$; $\alpha_2 = 0,500 \dots 0,790$; $\alpha_3 = 0,962 \dots 0,692$; $\alpha_4 = 19,5 \dots 42,0$.

Результаты исследований карбонизации были систематизированы с целью сопоставления коррозионного состояния стальной арматуры с параметрами защитного слоя бетона, что позволило получить взаимосвязь состояния стальной арматуры и защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре со степенью потери защитных свойств бетона при карбонизации для любой точки по сечению бетона (таблица 8.3).

Таблица 8.3 – Взаимосвязь состояния стальной арматуры, параметров pH и СК по сечению бетона

Степень коррозии стальной арматуры	Категория потери защитных свойств бетона	Граничные значения показателя pH	Степень карбонизации (СК)	Граничные значения показателя СК, %
0	0	> 11,80	0	< 13
I	I	11,80–10,80	I	13–26
II	II	< 10,80–10,30	II	> 26–36
III	III	< 10,30–9,80	III	> 36–47
IV	IV	< 9,80–9,00	IV	> 47–74
V	V	< 9,00	V	> 74

Выполненные исследования дали возможность назначить критерии оценки технического состояния ЖБЭ и ЖБК по показателям pH (значению pH водной вытяжки цементного камня) и СК (значению степени карбонизации) бетона защитного слоя в зоне расположения стальной арматуры (таблица 8.4).

Таблица 8.4 – Критерии оценки технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона

СК, % (pH)	Коррозионное состояние бетона и стальной арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (конструкции) (ТКП 45-1.04-305-2016 (02250))
<13 (>11,8)	Структурные свойства бетона находятся в уровне свежеприготовленного. Происходит плавное снижение показателя pH, свидетельствующее о последующей нейтрализации бетона и падении его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Показатель pH приближается к границе,

	после которой бетон полностью нейтрализуется и теряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре, что вызовет возможность развития ее коррозии в условиях переменной влажности. Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре, стальная арматура находится в пассивном состоянии. 0 степень карбонизации бетона, потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – хорошее
--	---

Продолжение таблицы 8.4

СК, % (рН)	Коррозионное состояние бетона и стальной арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (конструкции) (ТКП 45-1.04-305-2016 (02250))
13–26 (11,80 – 10,80)	Начало деградации бетона. Происходит снижение показателя рН ниже граничного значения, свидетельствующее о потере бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре. I степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Образование сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,1 мм на отдельных участках при СК = 15...18 %. Образование сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,2 мм на отдельных участках при СК = 18...26 %. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) удовлетворительное
Св. 26–36 (<10,80 – 10,30)	Развитие деградационных процессов в бетоне. II степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. СК = 26...30 %. Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,35 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры Ø 10–22 мм на, соответственно, 14–6 %. Образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры диаметров ≥ Ø 16 мм, образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры с недостаточной толщиной защитного слоя бетона. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное СК = 30...36 %. Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,55 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения арматуры Ø 10–22 мм на, соответственно, 21–10 %. Раскрытие волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное
Св.36–47 (<10,30– 9,80)	Деградация бетона средней степени интенсивности. III степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. СК = 36...40 %. Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,8 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры Ø 10–22 мм на, соответственно, 30–14 %; уменьшение (критическое) площади поперечного сечения на 30 % арматуры Ø 10 мм. Ин-

	тенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры. Отслаивание защитного слоя на отдельных участках в зоне расположения стальной арматуры диаметров ≤ 12 мм. Разрушение защитного слоя бетона на отдельных участках в местах недостаточной его толщины, оголение и коррозия стальной арматуры средней степени интенсивности. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой $\varnothing \leq 10$ мм неудовлетворительное, с рабочей стальной арматурой $\varnothing 12-22$ мм – не вполне удовлетворительное
--	--

Продолжение таблицы 8.4

СК, % (рН)	Коррозионное состояние бетона и стальной арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (конструкции) (ТКП 45-1.04-305-2016 (02250))
Св.36–47 ($<10,30 - 9,80$)	СК = 40...47 %. Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 1,15 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры $\varnothing 10-22$ мм на, соответственно, 41–20 %, уменьшение (критическое) площадей поперечного сечения на 41–31 % стальной арматуры диаметров, соответственно, $\varnothing 10-14$ мм. Интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры, отслаивание защитного слоя на многочисленных участках. Разрушение защитного слоя бетона на отдельных участках в местах недостаточной его толщины, оголение и коррозия стальной арматуры средней степени интенсивности. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой $\varnothing \leq 14$ мм неудовлетворительное, с рабочей стальной арматурой $\varnothing 16-22$ мм – не вполне удовлетворительное
Св.47–74 ($<9,80 - 9,00$)	Деградация бетона высокой степени интенсивности. IV степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. СК = 47...57 %. Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 1,60 мм на многочисленных участках, уменьшение (критическое) площадей поперечного сечения стальной арматуры $\varnothing 10-22$ мм, соответственно, на 54–27 %. Интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры, отслаивание защитного слоя на многочисленных участках и его частичное разрушение с оголением на отдельных участках стальной арматуры и ее коррозией высокой степени интенсивности. Полное разрушение на отдельных участках стальной арматуры до $\varnothing 10$ мм. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой $\varnothing 10$ мм неудовлетворительное (предаварийное); арматурой $\varnothing 12-20$ мм – неудовлетворительное, с рабочей стальной арматурой $\varnothing 22$ мм – не вполне удовлетворительное

	СК = 57...74 %. Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 2,30 мм на многочисленных участках, уменьшение (критическое) площадей поперечного сечения на 71–38 % стальной арматуры диаметров, соответственно, Ø 10–22 мм. Интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры, отслаивание и разрушение защитного слоя бетона на многочисленных участках. Оголение и коррозия стальной арматуры высокой степени интенсивности на многочисленных участках. Полное разрушение на отдельных участках стальной арматуры до Ø 12 мм. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой Ø 10–14 мм неудовлетворительное (предаварийное); арматурой Ø 16–22 – неудовлетворительное
--	---

Окончание таблицы 8.4

СК, % (рН)	Коррозионное состояние бетона и стальной арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (конструкции) (ТКП 45-1.04-305-2016 (02250))
Св. 74 (<9,00)	Полная деградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем. У степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры. Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной более 2,30 мм, уменьшение (критическое) площади поперечного сечения на 34 % стальной арматуры Ø 25 мм. Интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры, массовое отслаивание защитного слоя бетона. Полное разрушение защитного слоя бетона на многочисленных участках, оголение и коррозия высокой степени интенсивности стальной арматуры. Полное разрушение стальной арматуры до Ø 12 мм на многочисленных участках. Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой Ø 10–16 мм предаварийное; арматурой Ø 18–22 – неудовлетворительное

Таким образом, при оценке технического состояния ЖБЭ и ЖБК на момент обследования, выполняется физический анализ (определение показателя рН), позволяющий оценить защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре и техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) в зависимости от времени и условий эксплуатации. Химический анализ универсален, он позволяет, и оценивать, и прогнозировать аналогичные показатели. Для обоих анализов используются образцы (масса одного – не более 2,5 г) бетона (цементно-песчаная фракция), получаемые скалыванием до стальной арматуры, либо порошок, получаемый выбуриванием по сечению бетона, что не приводит к разрушению исследуемых ЖБЭ (ЖБК). Анализ образцов не требует применения специального дорогостоящего оборудования. Полный (физико-химический) анализ одного образца занимает в среднем 90 минут (без учета приготовления образцов). Таким

образом, физико-химический анализ бетона (либо его составляющие) является новым неразрушающим методом диагностирования железобетона. Его рекомендуется выполнять: при возобновлении строительства объектов после длительных сроков отсутствия работ; детальном обследовании ЖБЭ, эксплуатирующихся в атмосферных условиях; любом виде обследования при наличии сомнений в состоянии конструкций; анализе причин коррозии стальной арматуры при отсутствии явных признаков агрессивной среды; расследовании причин создания аварийных ситуаций и аварий. Его применение в совокупности с предложенными «Критериями оценки технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона» позволяет значительно повысить не только объективность оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК), но и эффективность выбора мероприятий по их восстановлению.

9 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Техническое обследование – процесс, включающий в себя контроль, испытания, анализ и оценку конструкций зданий и сооружений в целях выяснения эксплуатационных качеств конструкций, целесообразности ремонта и реконструкции зданий и сооружений, выяснение причин аварий, прогнозирование поведения конструкций в будущем.

Целью обследования являются определение действительного технического состояния строительных конструкций, получение количественных оценок фактических показателей качества: прочности, устойчивости, сопротивления теплопередаче, соответствия архитектурно-строительным нормам с учетом выявленных возможных изменений свойств и технических параметров, конструкций и материалов, происходящих в процессе их эксплуатации.

Основной задачей обследования является разработка рекомендаций и технических решений по восстановлению утраченных эксплуатационных качеств элементов здания (при ремонте) или придания им новых качеств в изменившихся условиях эксплуатации (при реконструкции).

Обследование зданий производится для оценки соответствия показателей их эксплуатационных качеств проектной документации и требованиям ТНПА при:

- определении пригодности здания (сооружения) к дальнейшей эксплуатации;

- паспортизации;
- проектировании ремонта, реконструкции, модернизации, реставрации;
- изменении нагрузок или воздействий;
- изменении условий эксплуатации;
- определении износа;
- при смене собственника, для уточнения стоимости строения;
- решении вопросов утилизации;
- возобновлении строительства законсервированных объектов;
- по требованию собственника, органов власти, страховых компаний и т. д.

При обследовании выявляют дефекты (повреждения):

- вызванные принятыми проектными решениями;
- образовавшиеся при изготовлении или возведении конструкций;
- возникшие в результате физического износа;
- от агрессивных воздействий среды;
- от нарушения правил эксплуатации;
- полученные в результате стихийного бедствия;
- образовавшиеся по другим причинам.

Проведение обследования конструкций (в полном объеме) включает в себя:

- 1-й этап – предварительный осмотр здания;
- 2-й этап – общее обследование (по внешним признакам);
- 3-й этап – детальное (инструментальное) обследование.

Общее и детальное обследования могут быть отдельными видами.

Предварительный осмотр здания производят до составления технического задания на проведение обследования для уточнения цели и задач работы, предварительного определения объемов и сроков производства работ, объема имеющейся проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, условий доступа к обследуемым элементам здания.

Общее обследование проводится для общей оценки технического состояния строительных конструкций, определения необходимости, объема и программы детального обследования.

Детальное обследование является основным способом оценки технического состояния элементов и конструкций зданий и сооружений.

Обследование и оценку технического состояния строительных конструкций должна производить специализированная организация в соответствии с действующими ТНПА.

При обследовании зданий, являющихся историко-культурными ценностями, следует учитывать требования СТБ ISO 13822.

Обследование производят с помощью средств измерений, допущенных к применению на территории Республики Беларусь, поверенных в соответствии с ТКП 8.003 или аттестованных в соответствии с ТКП 8.004. Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с

СТБ 8015. При выполнении работ по обследованию следует соблюдать правила безопасности труда в соответствии с ТКП 45-1.04-126.

Состав, конкретный перечень и объем работ при обследовании устанавливаются в техническом задании заказчика.

Обследование строительных конструкций должно проводиться с учетом данных проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, организациями, имеющими право на осуществление данного вида деятельности в соответствии с законодательством Республики Беларусь. Инженерно-технические работники, выполняющие обследования, должны иметь соответствующую квалификацию, а также располагать необходимыми средствами измерений и испытательным оборудованием. Лица, назначаемые руководителями и ответственными исполнителями работ, должны иметь стаж обследования зданий в соответствии с квалификационными требованиями, установленными действующими законодательными актами, дающими право осуществлять данный вид деятельности. Правом выполнять классификацию дефектов, оценивать степень их распространенности, оценивать степень ответственности элементов или их отдельных участков за работоспособность конструкций (в том числе методом экспертной оценки в ситуациях, не детализированных ТНПА) должны быть наделены ответственные исполнители работ, назначенные приказом руководителя организации, проводящей обследование.

Обследование может быть как всех элементов и конструкций здания, так и выборочное по отдельным видам.

По результатам обследования принимают решение о необходимости, целесообразности и сроках полного или частичного ремонта зданий, их модернизации, реконструкции или утилизации с учетом:

- категории технического состояния и степени износа строительных конструкций;
- планируемой модернизации производства (для производственных зданий);
- требований действующих ТНПА.

Результаты обследования оформляются в виде «Отчета» или «Заключения» организации, проводившей обследование. Данный документ действителен в течение 3 лет после выполнения обследования при условии выполнения рекомендаций по устранению дефектов в установленные сроки.

Для каждого вида обследования и типа конструкций характеристики обследования (состав и объемы работ по типам конструкций; граничные значения выявляемых дефектов и их критичность; технология работ при выполнении обследований и т. д.) определяются в соответствии с действующими нормативными и рекомендуемыми документами Республики Беларусь и могут изменяться при их совершенствовании.

9.1 Общее обследование

Общее обследование включает в себя общую оценку конструктивной схемы и соответствия здания проектной документации в части объемно-планировочного и конструктивного решения, а также по виду и характеру нагрузок, условиям эксплуатации. По внешним признакам дается ориентировочная оценка категории состояния отдельных элементов и конструкций с определением необходимости проведения противоаварийных мероприятий.

9.1.1 Основные положения

9.1.1.1 При общем обследовании необходимо производить *следующие работы*:

- изучение планировочных и конструктивных решений, анализ их соответствия проектной документации;
- осмотр и фотографирование конструкции;
- составление по результатам осмотра и необходимых измерений элементов дефектных ведомостей, схем, разверток или таблиц со ссылками на фотоиллюстрации, содержащих подробную информацию о конкретном месте расположения дефекта и его основных параметрах;
- изучение особенностей прилегающей к зданию территории, вертикальной планировки; оценка состояния благоустройства, организации отвода поверхностных вод;
- выявление вблизи здания опасных геологических явлений;
- оценка расположения здания в застройке;
- предварительная (ориентировочная) оценка технического состояния элементов здания (по внешним признакам) и, в случае необходимости, – принятие решения о противоаварийных мероприятиях;
- определение места выработок, вскрытий, зондирования конструкций для последующего детального обследования элементов здания (при необходимости).

9.1.1.2 При отсутствии необходимой проектной документации или несоответствии здания проектной документации следует выполнять *обмерочные чертежи*, включающие:

- поэтажные планы здания или его отдельных участков, подлежащих обследованию;
- поперечные и продольные разрезы;
- схемы расположения элементов здания;
- эскизы обследуемых конструкций и узловых соединений – виды, развертки, сечения (при необходимости);
- схемы расположения оборудования с указанием нагрузок (предоставляет заказчик).

В соответствии с техническим заданием перечень работ может быть сокращен или расширен с учетом конкретной цели обследования.

9.1.1.3 Для проведения общего обследования здание разбивается на *характерные зоны*, назначаемые по следующим признакам:

- вид элементов и конструкций;

- особенности нагрузок и эксплуатационных воздействий:

- а) статические и динамические нагрузки;

- б) нагрузки на перекрытия и полы от внутрицехового и внутризаводского транспорта;

- в) работа мостовых кранов и другого подъемно-транспортного оборудования (подвесные краны, консольно-поворотные краны и т. д.);

- г) газовоздушные внутрицеховые среды;

- д) воздействия воды, кислых и щелочных растворов, масел, вододисперсионных и органических растворов, их температура и концентрация;

- е) повышенное пылевыведение;

- ж) другие эксплуатационные воздействия.

Основные параметры эксплуатационных воздействий устанавливаются по данным служб технического надзора предприятий и проектной документации и, при необходимости, уточняются в процессе детального обследования строительных конструкций.

Общая площадь одной зоны обследования не должна превышать 1000 м². В пределах каждой зоны фиксируют участки с различным состоянием конструкций.

9.1.1.4 При общем обследовании проводят *визуальный осмотр* всех элементов и конструкций с применением, в необходимых случаях, инструментов и приборов. При необходимости выполняют испытания и измерения для получения дополнительных данных о состоянии конструкций и их соответствии проектной документации: ориентировочная оценка прочности бетона и его плотности, измерение ширины раскрытия и глубины наиболее характерных трещин, выборочное измерение наибольших отклонений основных размеров от проектной документации.

9.1.1.5 При визуальном осмотре *устанавливают*:

- трещины в бетоне элементов и конструкций, в особенности трещины в зонах элементов и конструкций, в которых они не допускаются (наклонные трещины, пересекающие растянутую и сжатую зоны, трещины в зоне конструкций, работающей на сжатие, продольные трещины вдоль арматуры или в сжатой зоне);

- сколы бетона, каверны, раковины, повреждения защитного слоя, выявленные участки бетона с изменением его цвета;

- оголения арматуры;

- зоны повреждения арматуры, закладных деталей, сварных швов (в том числе в результате коррозии);
- несоответствие площадок опирания сборных элементов проектным требованиям;
- прогибы, относительная величина которых превышает значения, установленные ТНПА;
- местные и общие искривления элементов металлоконструкций, отсутствие отдельных элементов, коррозия, не предусмотренные проектной документацией отверстия и вырезы, ослабление болтов и заклепок;
- ослабление, увлажнение, повреждение, в том числе гниль сечений элементов и узлов деревянных конструкций;
- наиболее поврежденные и аварийноопасные конструкции;
- другие видимые дефекты.

9.1.1.6 При общем обследовании должны проводиться *сплошной визуальный контроль* обследуемых элементов здания и *фиксирование* всех явных дефектов.

9.1.1.7 Если в ходе сплошного контроля после проверки 25 % от общего количества однотипных элементов и конструкций дефекты не выявлены, допускается переход на выборочный контроль с определением объема выборки из числа оставшихся элементов и конструкций в соответствии с таблицей 9.1.

Таблица 9.1 – Минимальный объем выборки

Виды элементов и конструкций	Объем выборки, %
Колонны	43
Фермы	100
Балки	65
Подкрановые балки	100
Плиты перекрытия	32
Плиты покрытия	27
Панели стен	32
Фундаменты	13

9.1.1.8 Дефектные ведомости составляют в виде карт дефектов, нанесенных на обмерочные чертежи, или в виде таблиц.

9.1.2 Основания и фундаменты

9.1.2.1 Деформации грунтов оснований и дефекты фундаментов зданий устанавливаются в процессе осмотров надземных строительных конструкций. При обследовании *проверяют и (или) устанавливают* следующие дефекты:

- смещения по вертикали, наклоны или перекосы подкрановых путей и конструкций каркаса здания;

- смещения опор несущих элементов междуэтажных перекрытий или покрытий, а также подкрановых балок;
- трещины, разрывы, ослабления или другие повреждения в соединениях несущих конструкций, около опор, в местах заделки или других узлах сопряжений;
- изгибы металлических ферм около опор, рам около узлов сопряжения со стойками;
- раскрытие или сужение деформационных швов, изменяющиеся по высоте здания;
- крен какой-либо стены или здания в целом;
- вертикальные или наклонные трещины в стенах, распространяющиеся не менее чем на 2/3 высоты здания;
- искривление рядов кладки, перемычек, карнизов или других горизонтальных элементов в плоскости стены;
- трещины в железобетонных перемычках;
- трещины в швах по периметру стеновых панелей или крупных блоков стен, сколы вертикальных сопрягающихся граней, в местах сопряжения стен и перегородок между собой, с перекрытиями или покрытием здания, в местах сопряжений стен с обрамлениями проемов;
- разрыв или деформация креплений стеновых панелей;
- искривления, крены перегородок, трещины в перегородках;
- сколы сопрягающихся граней несущих плит перекрытий или покрытия здания;
- трещины в лагах и несущих плитах междуэтажных перекрытий, распространяющиеся по сечению конструкции пола и плиты на длине в несколько плит и расположенные на различных этажах по одной вертикали;
- перекосы или смещения опор маршей либо площадок лестничных клеток или крылец;
- заклинивание дверей или ворот вследствие перекоса проемов;
- заклинивание лифтов вследствие перекоса лифтовых шахт;
- несоблюдение допустимых зазоров между выступающими частями кранового оборудования и строительными конструкциями здания;
- отрыв от стены отмостки, примыкающего тротуара или дорожного покрытия.

9.1.2.2 При обследовании подвалов, прямиков и подполий необходимо контролировать места увлажнения стен и перекрытий, образования на них плесени и высолов; отслаивания штукатурки или защитных слоев бетона на поверхностях фундаментов, стен и перекрытий; расслаивания кладки стен и выпадения камней из нее; повреждения заполнений оконных и дверных проемов; неплотностей в сопряжениях стен между собой и с полами; просядок полов и грунта.

9.1.2.3 До начала обследования подземных помещений здания необходимо провести осмотр состояния инженерных коммуникаций, проходящих в помещении, чтобы их протечки не учитывать как протечки гидроизоляции.

9.1.2.4 При обследовании гидроизоляции *проверяют и (или) устанавливают* следующие дефекты:

- разрушение прижимной защитной стенки;
- разрушение защитного слоя;
- разрушение мест примыканий;
- разрушение одного, двух, трех и т. д. слоев гидроизоляции;
- полное разрушение гидроизоляционного ковра.

9.1.2.5 Внутреннюю гидроизоляцию обследуют, выявляя ее толщину, места протечек и интенсивность, наличие на поверхности следов механических повреждений – выбоин, сколов и трещин.

9.1.2.6 Состояние наружной гидроизоляции здания определяют по наличию следов протечек на стенах и полу изолированного подземного помещения. При этом также определяют места и интенсивность протечек, места сколов и коррозии арматуры на стенах помещения.

9.1.2.7 Критическим дефектом гидроизоляции считается объединяющиеся локальные дефекты на площади, составляющей более 40 % общей площади рассматриваемой зоны.

9.1.2.8 В процессе осмотра фундаментов и стен подвалов выявляется наличие пустых швов, местных разрушений, раковин, каверн, пор и других дефектов.

9.1.2.9 При обследовании необходимо установить конструкцию кладки фундаментов и стен подвалов путем контрольного зондирования кладки. Особое внимание необходимо обратить на облегченные и смешанные кладки. При выявлении фундаментов такой конструкции должны быть выделены границы несущих участков и ненесущего заполнения.

9.1.2.10 Признаками критических дефектов оснований и фундаментов являются:

- прогрессирующие сквозные трещины на всю высоту здания с раскрытием свыше 40–50 мм;
- значительные неравномерные осадки фундаментов (относительная разность осадок более 0,002), сопровождающиеся разрушением цоколя, перекосами проемов, сдвижкой плит и балок с опор.

9.1.3 Колонны и подкрановые конструкции

9.1.3.1 При обследовании колонн *проверяют и (или) устанавливают*:

- наличие коррозионных повреждений;

- геометрические размеры колонн и соответствие их проектному положению;
- местные прогибы, вмятины и прочие механические повреждения;
- монтажные стыки колонн, качество сварных швов в них;
- соответствие проектной документации узлов сопряжения колонн со смежными конструкциями;
- наличие всех элементов связевых конструкций, требуемых по проектной документации;
- общие искривления ветвей связей и элементов соединительной решетки металлических колонн;
- местные механические повреждения связей;
- состояние узлов примыкания связей к колоннам;
- стыковые соединения поясов связей.

9.1.3.2 При обследовании железобетонных подкрановых конструкций проверяют и (или) устанавливают:

- зоны крепления подкрановых балок к колоннам и тормозных балок (ферм) к подкрановым;
- крепление рельса к подкрановым балкам, ослабление и разрушение крючьев и болтов, прижимных планок;
- соосность рельса и подкрановой балки;
- исправность подкранового пути (отсутствие недопустимого сужения или расширения колеи, перекосов рельсов, дефектов профиля и других дефектов, устанавливаемых на основе требований Проматомнадзора);
- вертикальность подкрановых балок и взаимное расположение их на опорах;
- отсутствие деталей кранового оборудования на площадках и в проходах.

9.1.3.3 При обследовании металлических подкрановых конструкций, кроме того, проверяют и (или) устанавливают:

- коррозионный износ подкрановых балок, в первую очередь – поясов;
- состояние нижних опорных узлов, анкерных болтов, прокладок;
- состояние соединения тормозных конструкций с верхним поясом балок, наличие швов сверху и снизу листа, продольных трещин в листе или шве;
- состояние верхнего поясного шва подкрановых балок и околшов-ной зоны, в первую очередь – на предмет выявления трещин. Появление трещин разных направлений возможно в верхней части стенки, а также под коротким ребром жесткости. Желательно осмотреть эти участки с обеих сторон балки. Осмотр указанных мест производится по всей длине подкрановых балок;
- качество и расположение заводских стыков, швов, поясов и стенок балок, швов приварки ребер жесткости;

- состояние узлов соединения балок между собой на опорах, а также с колоннами;

- состояние узлов примыкания тормозных конструкций к колоннам. В узлах с передачей усилий через строганные торцы следует контролировать плотность сопряжения опорных ребер с плитой колонны, выявлять зазоры и перекосы.

9.1.3.4 При обнаружении систематически повторяющихся однородных повреждений рельсов и их креплений необходимо установить специальное наблюдение за конструкциями для выяснения причин возникновения таких дефектов.

9.1.4 Стены и перегородки

9.1.4.1 При обследовании наружных стен *проверяют и (или) устанавливают* следующие дефекты:

- искривления горизонтальных или вертикальных линий, сопровождающиеся характерными трещинами;

- выпучивание поверхностей;

- отклонения от вертикали;

- отколы углов, раковины, выбоины, пробоины, борозды, вмятины;

- увлажнения (возможно, с обмерзанием) наружных и внутренних поверхностей;

- повышение воздухопроницаемости (продуваемости);

- пятна ржавчины на наружной или внутренней поверхности, свидетельствующие о коррозии арматуры или других стальных элементов;

- трещины в швах между элементами облицовки;

- набухание или коробление асбестоцементных листов;

- трещины в швах между панелями;

- выпадение, выкрашивание, структурные изменения материалов заполнения швов между панелями;

- отсутствие заполнений швов, нарушений плотности законопачивания пазов в стенах из древесины;

- коррозию закладных деталей, опорных столиков панелей и других металлических элементов;

- разрывы сварных швов, трещины в швах, погнутости и другие повреждения креплений панелей или металлических листов;

- нарушение узлов крепления панелей к каркасу здания, соединений элементов между собой (например, брусьев или бревен);

- трещины различного вида и направления;

- горизонтальные расслоения каменной кладки, возможно, со сдвигом по швам отдельных участков или камней;

- продольные расслоения материалов стены;

- шелушения поверхностей, выветривания наружных слоев, пониженной плотности, повышенной пористости, рыхлой структуры, измене-

ния химического состава материалов, возможно, с выкрашиванием и выпадением частиц;

- загнивания или поражения насекомыми древесины стен;
- выпадения отдельных кирпичей или мелких блоков как результат развития трещин и расслоения стены;
- наличие в теле стены внутренних пустот, старых дымоходов.

9.1.4.2 Для наружных стеновых панелей наиболее опасными являются следующие дефекты:

- нарушение соединений со смещением панелей и раскрытием трещин более 1 мм;
- деструкция материала стены на глубину более 1/3 толщины стены или слоя и длиной более 100 мм с уменьшением площади металлических элементов соединения и арматуры более 30 %.

9.1.4.3 Характерные дефекты внутренних стен и перегородок, аналогичны указанным для наружных стен (с учетом различий в воздействиях и конструктивных решениях).

9.1.4.4 При обследовании внутренних стен и перегородок *проверяют и (или) устанавливают* следующие дефекты:

- зыбкость перегородок;
- выпучивание и крен перегородок;
- вспучивание и местные повреждения отделочных слоев;
- трещины, в первую очередь в местах сопряжений стен и перегородок между собой, с перекрытиями, покрытием и обрамлениями проемов;
- выколы и другие повреждения в местах опирания несущих конструкций перекрытий и покрытия здания;
- плесень на поверхности, загнивание, поражение насекомыми элементов из древесины;
- увлажнение стен грунтовыми водами.

9.1.5 Перекрытия и рабочие площадки

9.1.5.1 Предварительным осмотром *должны быть установлены*: тип перекрытия (по виду материалов и особенностям конструкции), видимые дефекты, действующие на перекрытия нагрузки.

При осмотре перекрытий необходимо зафиксировать наличие, длину и ширину раскрытия трещин, прогибы перекрытий.

Осмотр перекрытий производится, главным образом, снизу.

9.1.5.2 При обследовании рабочих площадок *проверяют и (или) устанавливают*:

- коррозионное поражение конструкций, особенно в местах интенсивных воздействий химических веществ;
- ослабление сечений балок и настила различными вырезами или отверстиями для пропуска технологического оборудования;

- состояние узлов сопряжения, монтажных стыков, вставок между балками и т. д.;
- соответствие профилей балок и раскладки их в плане проектной документации;
- состояние стоек и связей по ним (механические повреждения, вырезы и искривления).

9.1.5.3 При общем обследовании перекрытий и рабочих площадок проверяют и (или) устанавливают следующие дефекты:

- прогибы, превышающие допустимые значения, возможно, с раскрытием трещин в нижней (растянутой) зоне железобетонных элементов; несоответствие схемы работы конструкции расчетной, принятой при проектировании; несоответствие класса (марки) по прочности бетона, стали проектным либо отклонение положения конструкции от проектного;
 - околы, отверстия, гнезда и борозды в железобетонных перекрытиях (рабочих площадках);
 - увлажнение (возможно с обмерзанием) верхних и нижних поверхностей;
 - высолы на нижней поверхности, солевые отложения и наросты (сталактиты);
 - промасливание бетона с образованием масляных пятен на нижней поверхности железобетонных перекрытий и рабочих площадок;
 - пятна ржавчины;
 - низкие звукоизоляционные характеристики конструкции перекрытия;
 - шелушение, растрескивание, вспучивание или отслаивание защитно-отделочного покрытия;
 - выпадение раствора из швов между сборными железобетонными плитами;
 - не установленные элементы, пропущенные или имеющие дефекты сварные швы соединений сборных железобетонных плит с полками ригелей, межколонных плит упорными уголками с колоннами и с помощью накладок между собой и т. д.;
 - коррозия элементов соединений сборных железобетонных плит;
 - трещины в кладке каменных сводов (преимущественно в растянутых зонах), раздробление камней сводов в замке, четвертях пролета или на опорах, выпадение отдельных камней каменных сводов;
 - прогрессирующего развития трещины в условиях вибрационных, ударных или других динамических воздействий;
 - истирание рифления стальных настилов рабочих площадок;
 - повреждение ограждений рабочих площадок.
- 9.1.5.4 При обследовании сводчатых перекрытий в процессе общего обследования необходимо установить:
- класс свода;
 - вид свода и его подвиды;

- геометрические параметры сводов и распалубок, в сложных случаях (коробовые своды и т. п.) с выполнением обмеров снизу способом засечек;

- наличие и размеры подпружных арок.

Остальные параметры сводов определяются, при необходимости, при детальном обследовании.

9.1.5.5 Дефектами, устранение которых требует принятия незамедлительных мер, в перекрытиях и рабочих площадках являются:

- трещины, свидетельствующие о перегрузке каменных сводов;
- раздробление камней сводов в замке, четвертях пролета или на опорах, выпадение отдельных камней;
- расслоение кладки сводов;
- сквозные коррозионные отверстия в металлических настилах рабочих площадок;
- наличие элементов, угрожающих падением;
- дефекты и повреждения металлических и железобетонных конструкций, характеризующиеся в приложении Г как наиболее опасные;
- поражение элементов из древесины гнилью или насекомыми на глубину более 1,5 см при ослаблении сечения более чем на 30 %;
- повреждения ограждений рабочих площадок.

9.1.6 Крыши и покрытия зданий, подвесные потолки

9.1.6.1 Дефекты несущих элементов чердачных и бесчердачных крыш аналогичны дефектам междуэтажных перекрытий. Кроме того, при обследовании стальных и деревянных элементов проверяют и (или) устанавливают:

- признаки потери устойчивости формы или положения, оценивают геометрическую неизменяемость;
- участки с видимыми повреждениями узлов, раскрытием трещин, скалывания и усушки, трещин в защитных или декоративных покрытиях элементов, биоэнтомологическими, огневыми, коррозионными повреждениями, с недопустимыми атмосферными, конденсационными и техническими увлажнениями, мостиками холода.

9.1.6.2 При обследовании крыш и покрытий проверяют и (или) устанавливают следующие основные дефекты:

- протечки дождевых или талых вод;
- несоответствие конструкции крыши или покрытия проектной документации или нормативным требованиям;
- застой воды на кровле;

- продольные или поперечные трещины, возможно с нарушением и отрывом креплений, в кровлях из асбестоцементных листов;
- срыв элементов кровель из штучных материалов (асбестоцементных, металлических листов и др.);
- обломанные углы или кромки асбестоцементных листов;
- образование сосулек и наледей на свесах, увлажнение карнизной части здания, возможно, с разрушением и обрушением;
- потеря крупнозернистой посыпки кровельным материалом, возможно, с появлением каверн и трещин в защитном слое рулонной кровли;
- трещины в битумном окрасочном слое рулонной кровли;
- размягчение и стекание кровельной мастики окрасочного слоя рулонной кровли;
- отсутствие сцепления или непрочное сцепление кровельного рулонного ковра со стяжкой;
- вздутия между слоями кровельного рулонного ковра;
- сползание, расслаивание полотнищ рулонных материалов на основных поверхностях (скатах) кровли, в местах примыкания кровли к выступающим над кровлей конструкциям;
- продольную или поперечную усадку (складчатость) полотнищ рулонных материалов кровли;
- сквозные трещины в кровельном рулонном ковре;
- трещины в сварных швах металлических кровель;
- ослабление креплений металлических листов к обрешетке;
- неплотности фальцев, пробоины и нарушение примыканий к выступающим частям, просветы со стороны чердака;
- ржавчина на поверхности кровли, свищи, пробоины;
- щели, неплотности в местах сопряжений кровли со стенами, парапетами, бортами фонарей, трубами и другими выступающими над кровлей конструкциями;
- структурные или химические изменения в материале кровли;
- отслаивание, вспучивание стяжки, структурные изменения в материале стяжки или верхних слоев утеплителя;
- увлажнение (возможно, с обмерзанием) нижней поверхности;
- щели и неплотное примыкание черепиц, их механическое повреждение, нарушение сплошности промазки между черепицами в черепичных кровлях;
- отсутствие либо механические или коррозионные повреждения покрытий парапетов и противопожарных стен, а также фасонных элементов, перекрывающих коньки и ребра в кровлях из штучных материалов;
- дефекты и повреждения слуховых окон;
- отсутствие или повреждения ограждений кровли либо рабочих ходов по кровле, предусмотренных проектной документацией и необходимых в соответствии с требованиями действующих ТНПА;

– дефекты и повреждения стропильных и подстропильных конструкций, связей, прогонов и несущих настилов.

9.1.6.3 Повреждения кровель по площади разрушения *делят*: на точечные, сосредоточенные на площади 1 м²; локальные, расположенные на площади до 100 м²; сплошные, т. е. частые точечные или соединяющиеся локальные повреждения, занимающие в общей сложности более 40 % площади кровли.

9.1.6.4 При обследовании крыш и покрытий наибольшее внимание следует уделять:

– несущим элементам и конструкциям, в особенности в местах их опирания или заделки;

– ограждениям кровли, а также рабочим ходам по ней;

– карнизам, ендовам, водоприемным воронкам, примыканиям к возвышающимся над кровлей конструкциям (парапетам, стенам, трубам и т. д.), сопряжениям полотнищ, листов и других элементов кровли, где особенно часто наблюдаются дефекты и повреждения и происходят протечки дождевых и талых вод.

9.1.6.5 Дефектами, требующими незамедлительного принятия мер, в крышах и покрытиях зданий являются:

– повреждения несущих элементов и конструкций, квалифицируемые в приложении А как наиболее опасные;

– нарушения сплошности (сквозные трещины, разрывы, вырывы и т. п.) гидроизоляционных слоев или неплотности в их примыканиях, приводящие к протечкам кровли на площади составляющей более 40 % общей площади крыши;

– повреждения или засорение водосточных труб, приемных воронок, расстройство креплений или другие повреждения элементов систем водоотвода;

– поражение элементов гнилью или насекомыми.

9.1.6.6 Дефекты и повреждения крыш и покрытий, угрожающие безопасности людей (в частности, неисправности ограждения кровель) или сохранности оборудования, препятствующие нормальному ходу технологического процесса или приводящие к увлажнению и разрушению утеплителя либо других строительных конструкций, необходимо устранить немедленно.

9.1.6.7 При осмотре подвесных потолков выявляются провисающие участки, места с выпавшими элементами, состояние доступных для визуального осмотра креплений к несущим элементам перекрытий, увлажненные участки, высолы и т. п.

9.1.7 Полы

9.1.7.1 При обследовании полов *проверяют и (или) устанавливают* следующие основные дефекты:

- застывание жидкостей на поверхности пола;
- выбоины, выколы, вмятины в покрытии пола;
- истирание покрытия пола;
- отслоение, отрыв покрытия пола;
- вспучивание, просадки;
- трещины в покрытии пола;
- выкрашивание, наличие пустых или частично заполненных швов между штучными элементами покрытия пола;
- скользкая поверхность пола;
- низкая прочность, размягчение, изменение структуры или химического состава материала покрытия пола;
- неисправности вентиляционных устройств, решеток, щелевых плинтусов и т. п. в дощатых полах;
- неисправности лотков, каналов, трапов и сточных труб, а также перекрытий каналов.

9.1.7.2 Характерным дефектом является некачественно выполненная гидроизоляция полов по грунту и перекрытиям.

Признаками повреждения гидроизоляции полов по грунту является насыщение грунта непосредственно под полами технологическими жидкостями, что определяется шурфами.

9.1.7.3 Обследование полов *включает*:

- определение типов покрытий и конструкций полов и соответствия их проектной документации;
- выявление дефектов с составлением необходимых эскизов, чертежей;
- исследование состояния полов с выполнением необходимого количества вскрытий, отбор образцов и проб материалов полов и проливающих на них жидкостей.

В зданиях, где могут быть пролиты технологические жидкости, следует проверять примыкание полов к колоннам, стенам, фундаментам и деформационным швам. В этих местах должна обеспечиваться надежная герметичность.

При исследовании воздействия жидкостей на полы выявляют расположение и размеры зон постоянного, периодического и случайного их воздействия.

9.1.7.4 При обследовании фиксируют места и характерные виды разрушений (выбоины, трещины, отслоение покрытий от основания, участки коррозионных разрушений и т. п.). Определяют размеры разрушенных участков покрытия, глубину повреждений, состояние узлов примыкания полов к другим строительным конструкциям, трубопроводам, технологическому оборудованию, участки застоя жидкостей.

9.1.7.5 В необходимых случаях проверяют наличие уклонов, а также соблюдение специальных требований, предъявляемых к полам: безискровость, диэлектричность, бесшовность, тепловую активность, коррозионную стойкость.

9.1.7.6 Дефектами полов, требующими незамедлительного устранения, являются:

- разрушение или выпадение отдельных торцовых шашек, метлахских или цементных плиток либо других элементов из штучных материалов;
- выбоины, вздутия, прогибы, истертость на глубину (высоту) 10 мм и более;
- скользкость поверхности.

9.1.8 Окна, фонари, двери, ворота

9.1.8.1 При обследовании светопрозрачных ограждающих конструкций (окон, световых и светоаэрационных фонарей) *проверяют и (или) устанавливают* следующие основные дефекты:

- пониженное светопропускание остекления;
- протечки дождевых или талых вод через поврежденные участки окон, фонарей или их сопряжений со стенами или покрытием здания;
- образование инея или наледей на наружных и внутренних поверхностях и в межстекольном пространстве, накопление воды в межстекольном пространстве, увлажнение элементов заполнения проемов;
- повышенная воздухопроницаемость (продуваемость);
- нарушение сплошности остекления: трещины, выколы и другие повреждения стекол;
- неплотное или тугое закрывание створок или фрамуг;
- погнутости металлических элементов;
- рассыхание, коробление, разбухание, поражение гнилью или насекомыми деревянных элементов;
- шелушение, отслаивание, изменение структуры бетона в швах или обвязок стекложелезобетонных панелей;
- повреждения уплотняющих прокладок и герметизирующих мастик, противокоррозионных и декоративных покрытий, коррозионные повреждения металлических элементов;
- повреждения приборов открывания, закрывания и фиксации в открытом или закрытом положении створок и фрамуг;
- отсутствие отдельных элементов (стекол, штапиков, кляммер, прокладок и т. п.).

9.1.8.2 При обследовании дверей и ворот *проверяют и (или) устанавливают* следующие основные дефекты:

- неплотное или тугое закрывание полотен вследствие их перекоса;

- погнутости металлических элементов, коробление, рассыхание или разбухание деревянных элементов;
- поражение древесины гнилью или насекомыми;
- коррозия металла элементов;
- механические и коррозионные повреждения железобетонных элементов обрамлений;
- повреждения элементов уплотнения, а также приборов открывания, закрывания и фиксации полотен в открытом или закрытом положении;
- отсутствие элементов заполнения полотен и других элементов.

9.1.9 Лестницы

9.1.9.1 При обследовании, лестницы в здании подлежат осмотру сверху и снизу.

При обследовании лестниц *проверяют и (или) устанавливают:*

- состояние заделки или примыканий маршевой плиты, косоуров и ступеней к площадке, а также маршей площадок и ступеней к стенам;
- защитный слой в железобетонных лестницах, наличие трещин;
- наличие коррозии металлических элементов;
- состояние сварных швов;
- состояние болтовых соединений в местах примыкания косоуров к площадкам;
- прогибы, трещины в местах опирания и в середине пролета и другие повреждения маршей косоуров;
- перекашивание маршей;
- изломы ступеней;
- выбоины на поверхности и выкрашивание материалов ступеней и площадок;
- ослабление ограждений (расшатывание стоек, отсутствие элементов перил и т. п.).

9.1.9.2 При обследовании наружных пожарных и аварийных стальных лестниц *проверяют и (или) устанавливают:*

- крепления к стене здания;
- наличие всех предусмотренных проектной документацией элементов маршей и площадок (ступеней, перил);
- соединения, в том числе с точки зрения соответствия их характеристик проектным;
- коррозионные повреждения металла.

9.1.10 Балконы, карнизы, козырьки

9.1.10.1 При обследовании балконов и других консольных элементов в здании *проверяют и (или) устанавливают:*

- расчетную схему конструкции балкона и материал несущих конструкций;
- основные размеры элементов балкона или карниза (длина, ширина и толщина плит, длина и сечения балок, подвесок, подкосов, бортовых балок, расстояния между несущими балками);
- состояние несущих конструкций (трещины на поверхности плит, прогибы, коррозия стальных балок, арматуры, подвесок, сохранность покрытий и стяжек, уклоны балконных плит и др.);
- состояние опорных балок и подкосов стен под опорными частями эркеров и лоджий, наличие трещин в местах примыкания эркеров к зданию;
- состояние гидроизоляции;
- состояние раствора в кладке неоштукатуренных карнизов из напуска кирпича в местах выпадения кирпича, трещины в оштукатуренных карнизах;
- состояние стоек, консолей, подкосов, кронштейнов и подвесок, кровли козырьков;
- состояние конструкций ограждения балконов и козырьков.

9.1.11 Прилегающая к зданию территория

9.1.11.1 При обследовании прилегающей к зданию территории проверяют и (или) устанавливают следующие дефекты:

- недостаточные уклоны отмоستков, тротуаров, проездов и т. д.;
- разрушение или просадку отмоستков, тротуаров, покрытий проездов или площадок и т. д.; образование выбоин или валиков наката на проезжей части;
- щели в местах примыкания отмоستков, тротуаров, покрытий проездов или площадок к зданию;
- наличие подсыпки грунта у стен здания выше уровня гидроизоляции.

Такие дефекты должны быть устранены немедленно с наступлением устойчивых положительных температур наружного воздуха.

9.2 Детальное обследование

Детальное обследование необходимо производить в *следующих случаях*:

- при заполнении эксплуатационно-технического паспорта, когда отсутствуют необходимые данные о допустимых нагрузках на элементы здания;
- при увеличении нагрузки на элементы здания и (или) изменений условий их эксплуатации при отсутствии проектных данных или когда усилия от предполагаемых (расчетных) нагрузок превышают расчетную несущую способность, определяемую проектными данными, подтвержденными исполнительной документацией;

– при выявлении элементов или их отдельных участков категории III и выше технического состояния.

9.2.1 Общие положения

9.2.1.1 Программа детального обследования элементов и конструкций составляется с учетом данных общего обследования.

Детальное обследование *должно включать*:

- подробные обмеры конструкций и узлов их сопряжений, геодезическую съемку (при необходимости), измерение параметров трещин, прогибов, наклонов элементов; определение армирования и оценку степени коррозионного износа;

- определение фактических характеристик материалов конструкций неразрушающими методами или путем проведения испытаний отобранных из них образцов;

- окончательную схематизацию и классификацию дефектов;

- инженерно-геологические изыскания (при необходимости);

- получение данных о параметрах эксплуатационных сред;

- уточнение исходных данных, необходимых для выполнения расчетов конструкций, включая определение реальных нагрузок и воздействий, уточнение действительных расчетных схем с учетом фактических характеристик конструкций и узлов их сопряжений и т. д.;

- испытания элементов здания нагружением (при необходимости);

- анализ результатов обследования, разработку указаний (рекомендаций) по ремонту конструкций и (или) инженерных систем, по их дальнейшей безопасной эксплуатации;

- разработку технических решений по усилению элементов здания.

Расчет конструкций на предполагаемые нагрузки не входит в обязательный перечень работ по детальному обследованию и должен выполняться проектировщиком с учетом конкретных проектных решений.

9.2.1.2 Детальное обследование следует производить инструментальным способом.

Выбор методов и средств измерений параметров элементов и конструкций зданий и сооружений, правила выполнения прямых и косвенных измерений и обработка результатов принимаются в соответствии с ГОСТ 26433.0, ГОСТ 26433.1 и ГОСТ 26433.2.

9.2.1.3 Для выполнения полного (комплексного) детального обследования всего здания из общего количества подлежащих обследованию конструкций каждого вида (колонн, плит и т. д.), в каждой зоне здания формируют выборку для проведения детального обследования. Минимальное количество включаемых в выборку конструкций данного вида зависит от усредненного показателя КТС конструкции, определенной по результатам общего обследования по формуле (9.1), и принимается согласно таблице 9.2.

$$K_{\text{ср}} = \frac{5K_{\text{V}} + 4K_{\text{IV}} + 3K_{\text{III}} + 2K_{\text{II}} + K_{\text{I}}}{K_{\text{V}} + K_{\text{IV}} + K_{\text{III}} + K_{\text{II}} + K_{\text{I}}}, \quad (9.1)$$

где $K_{\text{I}}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}, \text{V}$ – количество конструкций, имеющих i -ю категорию технического состояния.

Таблица 9.2 – Минимальное количество обследуемых элементов и конструкций

Усредненный показатель КТС конструкции данного вида (УП)	Минимальное количество обследуемых элементов и конструкций из одной генеральной совокупности	
	%	шт., не менее
I	7	2
II	15	4
III	20	6

При этом в выборку включают конструкции, имеющие визуально различную степень повреждения.

В таблице 9.2 значение показателя КТС принимают с округлением. Значения таблицы 9.2 применяют для жилых и общественных зданий, а также производств со среднеагрессивной средой. Для производств со слабоагрессивной (неагрессивной) и сильноагрессивной средой количество обследуемых конструкций рассматриваемой зоны соответственно уменьшают или увеличивают на 30 %, а при обнаружении конструкций IV и V категории технического состояния увеличивают на 30 и 40 % соответственно. При отсутствии проектной и исполнительной документации и (или) при предполагаемом увеличении нагрузок, а также, если в процессе обследования выявлено, что параметры уже обследованных однотипных конструкций одного вида существенно различаются между собой, значения, указанные в таблице 9.2, увеличивают еще на 50 %. В отдельных случаях дополнительно может потребоваться сплошной контроль всех конструкций, производимый только по показателям, по которым были выявлены критические дефекты.

9.2.1.4 Для решения отдельных задач по конкретному объекту взамен комплексного детального обследования всего здания может потребоваться выборочное детальное обследование конструкций отдельного вида или обследование всех конструкций только на отдельном участке здания. В таких случаях количество конструкций, подлежащих обследованию, назначают с учетом конкретных задач, указанных в техническом задании.

9.2.1.5 Обмерами устанавливают:

- геометрические размеры конструкций или отдельных элементов;
- размеры узлов и стыков;
- размеры опор;
- расположение и размер (толщины и длины) сварных швов, накладок;
- размеры раковин и каверн;

- ширину раскрытия трещин;
- толщину разрушенного коррозией слоя бетона;
- количество, диаметр, шаг арматуры;
- величины прогибов балок, ферм, плит покрытий и перекрытий, отклонений колонн от вертикали, перекосы конструкций, осадки, просадки и т. д.

9.2.1.6 Геодезическая съемка фактического положения конструкций производится в тех случаях, когда необходимо определить прогибы крупнопролетных элементов, осадку колонн, положение их относительно разбивочных осей, расстояние между осями подкрановых балок, а также в тех случаях, когда это предусмотрено проектной документацией (периодический контроль перемещений конструкций, контроль осадок и т. п.).

Геодезическая съемка должна производиться по разработанной программе.

9.2.1.7 При вскрытии элементов и конструкций *определяют*:

- размеры опорных частей конструкций и их соответствие проектной документации;
- правильность установки сборных конструкций;
- правильность выполнения узлов и стыков сборных конструкций и соответствие их проекту;
- качество сварки и заделки стыков, узлов и соединений;
- состояние закладных стальных элементов;
- параметры армирования;
- толщину защитного слоя бетона;
- наличие разрывов, трещин, коррозии и других дефектов;
- сцепление арматуры с бетоном и т. д.

Количество вскрытий в одном элементе должно быть минимальным и определяться особенностями конструктивной схемы, расположением нагрузки, стыков, характером трещин и разрушений.

9.2.1.8 Размеры вскрываемых участков в бетоне элементов и конструкций, необходимые для замеров и осмотров, должны быть минимальными по длине и ширине.

В местах вскрытий производят *визуальное освидетельствование* свежего излома бетона, *фиксируя при этом*:

- вид и максимальный размер зерен крупного заполнителя;
- ориентировочное соотношение между мелким и крупным заполнителем, в процентах;
- наличие трещин и других дефектов в растворной части, крупном заполнителе или на контакте между ними;
- характер отрыва бетона (по крупному заполнителю, контакту между крупным заполнителем и растворной частью, смешанный);
- наличие высолов и кристаллов солей в порах бетона;
- вид, степень и глубину коррозии бетона.

Эти данные приводятся в заключении о проведенных испытаниях и используются при анализе результатов определения прочности бетона различными методами. Они учитываются также при выборе мест отбора образцов бетона для лабораторных исследований при необходимости уточнения причин коррозии бетона и арматуры.

Физико-химические исследования бетона выполняют для определения химического состава связанных цементным камнем агрессивных веществ, химических, физических и механических свойств бетона, а также его структурных характеристик и параметров состояния.

После проведения необходимых испытаний сечения конструкций в местах вскрытий должны быть восстановлены.

9.2.1.9 Методы дефектоскопии, приемы определения фактических и расчетных характеристик материалов по результатам обследования, оценки свойств, характеристик и степени коррозии материалов, контроля тепловой защиты ограждающих конструкций, методы отбора образцов и лабораторных исследований проб материалов, определения нагрузок и параметров эксплуатационных сред, действующих на строительные конструкции, особенности расчета несущей способности и эксплуатационной пригодности строительных конструкций из различных материалов, правила определения физического износа зданий приведены в других действующих ТНПА и инструктивных документах.

9.2.1.10 По результатам детального обследования выполняют расчеты конструкций с оценкой их степени нагруженности (CH) по формуле

$$CH = \frac{S_d}{R_d}, \quad (9.2)$$

где S_d – расчетное усилие в конструкции от фактических нагрузок;

R_d – расчетное сопротивление конструкции при ее фактических характеристиках с учетом влияния имеющихся дефектов.

Учет влияния имеющихся дефектов при определении R_d рекомендуется производить расчетным путем с непосредственным учетом влияния параметров дефектов на характеристики элементов в уравнениях равновесия при определении R_d .

При предварительных расчетах для ориентировочной экспресс-оценки несущей способности конструкций при наличии дефектов допускается применять следующие подходы:

а) снижение несущей способности конструкции следует учитывать с помощью коэффициента снижения несущей способности γ , приведенного в классификаторах дефектов, и других коэффициентов, определяемых в зависимости от конкретного набора классификационных признаков дефектов, приведенных для различных видов конструкций.

Коэффициент γ умножают на значение R_d , определяемое без учета влияния дефектов;

б) использовать ориентировочные значения коэффициента γ , приведенные в таблице 9.3, назначаемые в зависимости от КТС конструкции.

Таблица 9.3 – Ориентировочные значения коэффициента снижения несущей способности строительных конструкций

КТС конструкции	Значения коэффициента γ
I	1,0–0,95
II	0,95–0,85
III	0,85–0,75
IV	0,75–0,55
V	До 0,55

Конкретное значение коэффициента γ в установленном диапазоне назначает аттестованный специалист по обследованию зданий с учетом фактического набора видов и параметров дефектов.

9.2.1.11 Выбор значений понижающего коэффициента γ осуществляют с учетом того, что при определении R_d основные размеры элементов и их сечений, защитные слои бетона, армирование, прочностные характеристики материалов принимают по результатам обследования, а значения $\gamma < 1$ интегрально учитывают совокупное влияние деградационных процессов, недоделки, нарушения некоторых конструктивных требований, влияющих на несущую способность, а также другие факторы, сложно учитываемые прямым путем в расчетных формулах. К ним относятся: наличие и вид коррозионных повреждений металла, бетона, арматуры, кладки; опасные силовые трещины и связанные с этим нарушение сцепления материалов, а также изменение их структуры и деформативных свойств, расслоение материалов; качество исполнения каменной кладки; отклонения элементов от вертикали; местные и некоторые формы общих искривлений; нарушение плотности креплений в узлах сопряжения элементов; биологические повреждения и т. д. Подробный перечень дефектов, контролируемых при детальном обследовании, приведен в ТКП 45-1.04-37.

9.2.1.12 Расчет конструкций первоначально следует выполнять по действующим ТНПА на проектирование «новых» конструкций. Однако, если степень нагруженности конструкций окажется $CH > 1$ и потребуются большой объем работ по усилению или замене конструкций, целесообразно выполнить уточненные расчеты или испытания конструкций по ТКП 45-1.04-37, так как их проектируют как правило по упрощенным расчетным схемам. Это позволяет выявить резервы несущей способности конструкций, связанные с их нелинейными свойствами, пространственным взаимодействием. Дополнительные резервы могут быть выявлены

при использовании нормируемых методов расчета сечений с использованием частных коэффициентов безопасности, которые модифицируются по сравнению с нормами с учетом фактической изменчивости свойств материалов и постоянных нагрузок, качества изготовления и т. д.

Также эффективно применять вероятностные методы расчета с учетом ответственности здания, последствий разрушения, назначенного остаточного срока службы. При этом можно использовать пониженные значения заданного индекса надежности, обоснованного социально-экономическими критериями и согласованного с заказчиком.

Для оценки надежности конструкций требуется расширенный (по сравнению с традиционными подходами) объем информации об изменчивости параметров конструкций и нагрузок для использования статистических методов оценивания вероятностных характеристик переменных.

9.2.1.13 В ряде случаев эксплуатация конструкций без расчета оценки их соответствия действующим нормам может допускаться на период времени, установленный организацией, проводящей обследование, *при соблюдении следующих условий:*

- все элементов и конструкции зданий и узлы их сопряжения доступны для осмотра и непосредственно перед составлением заключения обследованы специалистами организации, проводящей обследование;

- в течение достаточно долгого времени (не менее 20 лет) не менялось назначение здания или его отдельных помещений на рассматриваемом участке. Фактические нагрузки и воздействия на элементы и конструкции или условия их эксплуатации, которые могли бы повлиять на несущую способность, не изменялись, и такие изменения не предполагаются на период времени, установленный организацией, которая проводит обследование;

- за истекший период эксплуатации не проявлялись внешние признаки значительных или критических дефектов, свидетельствующих о перегрузке элементов и конструкций. По результатам обследования разработаны и в установленные сроки будут реализованы необходимые мероприятия по исправлению имеющихся дефектов;

- ожидаемая динамика изменения степени физического износа элементов и конструкций (с учетом их фактического состояния на момент обследования) и предполагаемый уровень их технического обслуживания в дальнейшем исключают недопустимое снижение несущей способности конструкций.

9.2.1.14 По результатам детального обследования и расчета аттестованный специалист по обследованию зданий обосновывает и формулирует необходимые мероприятия по ремонту и усилению конструкций, по необходимым изменениям режима эксплуатации, назначает сроки их выполнения, срок и вид следующего обследования с учетом их рекомендуемой периодичности. При необходимости разрабатывают конкретные

технические решения, на основании которых в дальнейшем должна быть разработана необходимая проектная документация.

Предполагаемые ремонтно-восстановительные мероприятия должны обеспечивать работоспособное состояние конструкции (при установленных режимах эксплуатации) по крайней мере на межремонтный срок, рекомендованный для данных элементов, за исключением аварийных ситуаций и других особых случаев.

Материалы обследования, выводы и рекомендации действительны в течение трех лет при условии выполнения рекомендаций по устранению дефектов в установленные сроки. Для III и IV категорий технического состояния срок действия заключения может быть сокращен, но не менее чем до одного года.

9.2.1.15 Отчет о детальном обследовании *должен содержать:*

- общие данные, включающие цель работы, основные характеристики обследуемых элементов и конструкций, описание расположения здания в застройке, результаты архивных исследований, описание технологических процессов;
- данные о технической документации, ее полноте, качестве;
- сведения, характеризующие проектный и фактический режим эксплуатации элементов и конструкций зданий, включающие данные по фактическим нагрузкам и воздействиям, по характеру внутрипроизводственной среды, по режиму эксплуатации;
- ведомости и схемы дефектов элементов и конструкций, необходимые фото- и видеоматериалы;
- результаты геодезических и других измерений параметров элементов и конструкций, неразрушающих методов контроля, других исследований и испытаний;
- результаты физико-механических испытаний образцов материалов, химических анализов материалов и среды;
- результаты анализа дефектов, а также причин их возникновения, оценку выполнения норм и правил технической эксплуатации здания;
- результаты оценки несущей способности и эксплуатационной пригодности конструктивных элементов;
- выводы о техническом состоянии элементов и конструкций и их пригодности к дальнейшей эксплуатации, необходимости восстановления или усиления (ремонта) конструкций;
- сведения, необходимые для заполнения паспорта о техническом состоянии здания (при необходимости);
- технические решения и рекомендации по методам восстановления, усиления или замены дефектных конструкций.

9.2.2 Основания и фундаменты

9.2.2.1 Перечень и объем работ по обследованию оснований и фундаментов должны определяться с учетом требований П11 к СНБ 5.01.01.

В зависимости от цели обследования и предполагаемого вида восстановительных мероприятий при обследовании *следует выполнять работы, указанные в таблице 9.4.*

Таблица 9.4 – Состав работ по обследованию оснований и фундаментов

Цель обследования здания	Выполняемые работы
Определение конструктивных особенностей фундаментов, их технического состояния, геометрических размеров и глубины заложения при капитальном ремонте здания без замены перекрытий и без увеличения нагрузок	Контрольные шурфы
Реконструкция, модернизация или капитальный ремонт здания со сменой всех перекрытий, увеличением нагрузок на основание, возведением надстроек и пристроек, деформации стен, столбов и фундаментов	Детальное обследование оснований и фундаментов: выполнение контрольных шурфов, бурение скважин с отбором монолитов для лабораторного исследования. Лабораторные исследования грунтов с целью определения физико-механических характеристик, химический анализ воды, лабораторные исследования материалов фундаментов
Определение причин затопления подвалов и других подземных сооружений, углубление подвалов, появление сырости (увлажнение) ограждающих конструкций подвалов	Контрольные шурфы. Исследование грунтов бурением с определением уровня грунтовых вод. Проверка состояния и соблюдения мероприятий, направленных на водопонижение и осушение грунтов. Проверка наличия и состояния гидроизоляции, наблюдение за уровнем грунтовых вод

9.2.2.2 При обследовании необходимо выявить наличие и местоположение существующих и ранее существовавших подземных сооружений, подвалов, фундаментов снесенных зданий, тоннелей, инженерных коммуникаций, колодцев, подземных выработок и т. д. в зоне расположения обследуемого здания. До начала выполнения земляных работ в установленном порядке должно быть получено разрешение на отрывку шурфов и траншей, бурение скважин и зондирование.

В местах исторической застройки проведение названных работ должно быть согласовано с органами охраны исторических памятников.

9.2.2.3 Инженерные изыскания выполняются в соответствии с СНБ 1.02.01 исходя из требований технического задания на проведение обследования.

Состав, объем, методы и последовательность выполнения изысканий должны обосновываться в программе инженерных изысканий с учетом типа здания или подземного сооружения и его глубины, уровня ответственности здания, степени изученности и сложности природных условий, с учетом положений П11 к СНБ 5.01.01.

Допускается не производить обследование грунтов оснований и фундаментов зданий и сооружений I и II уровней ответственности, у которых нет видимых деформаций, повреждений и нагрузки на фундаменты не увеличиваются и в зоне взаимодействия сооружения с геологической средой отсутствуют специфические грунты и опасные инженерно-геологические процессы.

9.2.2.4 Ширину подошвы фундаментов и глубину его заложения следует определять натурными обмерами. В наиболее нагруженных участках ширина подошвы определяется в двусторонних шурфах, в менее нагруженных допускается принимать симметричное развитие фундамента по размерам, определенным в одностороннем шурфе. Отметка заложения фундамента определяется нивелированием.

9.2.2.5 Обследование материалов фундаментов должно выполняться неразрушающими методами или лабораторными испытаниями. Пробы материалов фундаментов для лабораторных испытаний отбирают в тех случаях, когда их прочность является решающей при определении возможности дополнительной нагрузки или в случае обнаружения разрушения материала фундамента.

Пробы допускается отбирать только из ленточных и сплошных фундаментов. В исключительных случаях допускается взятие проб из отдельных фундаментов на естественном основании и ростверков свайных фундаментов.

Отбор проб материала необходимо производить без снижения несущей способности фундаментов. Способы взятия и изготовления образцов должны обеспечивать неизменяемость структуры материала, его характеристик и связанных с этими факторами прочностных показателей исследуемого материала.

Для определения прочностных характеристик кирпичных фундаментов необходимо иметь не менее 10 шт. целых кирпичей (для пустотелого кирпича) или не менее 10 шт. половинок полнотелого кирпича.

Образцы кирпича отбираются из разных мест тела фундамента. Отбор всего количества образцов из одного места не допускается во избежание нарушения несущей способности фундамента.

Одновременно с отбором кирпича из тела фундамента отбираются пробы раствора в количестве 5 шт. для выпиливания и склеивания из него кубиков размерами 4×4×4 или 7×7×7 см.

Места отбора образцов сразу после отбора заделываются бетоном или хорошо обожженным кирпичом на цементном растворе.

Из бутовых фундаментов отбираются не менее пяти образцов камня размерами сторон не менее 5×10×20 см.

При отборе образцов необходимо следить за сохранением прочности камня, так как при выемке отдельных камней возможно нарушение целостности как самих камней, так и кладки в целом.

После отбора образцов места отбора зачищаются и заделываются бетоном на крупном заполнителе.

Пробы бетона из бетонных и бутобетонных фундаментов должны быть в виде кубиков с размерами сторон не менее 7,07 см или кернов с диаметром не менее 7,14 см.

В связи с тем, что извлеченные образцы имеют обычно неправильную форму, в дальнейшем необходимые формы и размеры им не придают.

Из бутобетонных фундаментов помимо пробы бетона берется проба бута, состоящая из пяти камней размерами не менее 5×10×20 см.

Отбор проб бетона из свайных фундаментов следует осуществлять на расстоянии 5, 20, 50 и 80 см ниже поверхности грунта и в подполье на высоте 30 см от поверхности грунта.

Образцы древесины свайных столбов для определения влажности и микологического обследования следует брать ниже поверхности земли – на глубине 20 см, у поверхности земли – на глубине 0–10 см и выше уровня земли на 20–50 см.

Для лабораторных испытаний из материалов ленточных фундаментов отбирают не менее пяти образцов.

9.2.2.6 После окончания шурфования и бурения, выработки должны быть тщательно засыпаны с послойным трамбованием и восстановлением покрытия. Во время рытья шурфов и обследования необходимо принимать меры, предотвращающие попадание в шурфы поверхностных вод.

9.2.2.7 Результаты инженерно-геологических изысканий *должны содержать данные, установленные в СНБ 5.01.01 и необходимые для решения вопросов:*

- определения свойств грунтов оснований для возможности надстройки дополнительных этажей, устройства подвалов и т. п.;
- выявления причин деформаций и определения мероприятий по усилению оснований, фундаментов, других надфундаментных конструкций;
- выбора типа гидроизоляции подземных конструкций, подвальных помещений;
- установления вида и объема гидромелиоративных мероприятий на площадке.

9.2.2.8 При выявлении критических дефектов фундаментов, неравномерных осадок, опасных геологических явлений необходимо организовать геодезические наблюдения, в процессе которых производится:

- определение абсолютных и относительных величин деформаций и сравнение их с расчетными и допустимыми значениями;
- уточнение закономерностей развития деформаций;
- выявление причин возникновения и степени опасности деформаций для нормальной эксплуатации здания;
- обоснование прогноза развития природных и техногенных процессов и оценка степени их опасности;
- разработка своевременных мероприятий по ликвидации опасных последствий недопустимых деформаций.

9.2.2.9 В наиболее сложных случаях необходимо дополнительно организовать гидрогеологические и геофизические наблюдения за изменениями отдельных компонентов геологической среды.

9.2.2.10 Для зданий, расположенных на просадочных грунтах, определение уровня и агрессивности грунтовых вод по скважинам, колодцам и т. п. следует производить 1 раз в квартал, а при появлении повреждений строительных конструкций, которые могут быть следствием просадки грунтов основания, – по пьезометрам (скважинам) – не реже 1 раза в неделю с соответствующей записью результатов в журнале осмотра водозащитных устройств и с привлечением, в случае постоянного повышения уровня или агрессивности грунтовых вод, специализированной организации для разработки мер по предотвращению дальнейшего повышения их уровня или агрессивности, предупреждению просадок оснований и фундаментов, защите фундаментов, подвалов и других подземных сооружений от повреждения.

В скважинах и колодцах, расположенных вблизи теплотрасс, целесообразно следить за изменением температуры грунтовых вод, что способствует раннему выявлению аварий на теплотрассах.

9.2.2.11 При появлении признаков утечки воды или других жидкостей из водонесущих коммуникаций, технологического оборудования, емкостей и др., а также при деформациях здания или его отдельных частей, вызванных возможным увлажнением грунтов основания, необходимо произвести измерение влажности грунтов основания.

9.2.2.12 Инструментальную проверку осадки фундаментов зданий, а для подкрановых конструкций – определение их положения в плане и по высоте необходимо производить, учитывая результаты предыдущих наблюдений за осадками, но не реже: в процессе стабилизации осадок здания – 1 раза в квартал, а после стабилизации осадок (до 1,0–1,5 см в год) (но не ранее чем через два года после завершения строительства и сдачи объекта в эксплуатацию) – 1 раза в полугодие.

В местах наибольших осадок (более 100 мм) или при скорости осадок более 10 мм в месяц необходимо проводить инструментальную проверку не реже чем 1 раз в месяц.

В местах аварийных нарушений технологических процессов или повреждений коммуникаций, транспортирующих воду либо другие жидко-

сти, а также после продолжительных ливневых дождей (в течение двух-трех дней) должны проводиться внеочередные инструментальные проверки независимо от плановых сроков.

9.2.2.13 При проведении наблюдений за просадками и осадками *устанавливаются*:

- абсолютные величины осадки или просадки фундаментов и развитие их во времени;
- центр развития просадок (обычно место инфильтрации в грунт аварийных вод, образования купола грунтовых вод или перегрузки грунта основания);
- характеристики деформаций несущих элементов конструкций и фундаментов (положение, величины и скорости развития трещин, кренов, боковых смещений фундаментов).

При отсутствии постоянных деформационных марок, до их установки, наблюдения за осадками оснований и фундаментов допускается производить нивелированием выбранных заранее точек цоколя, подоконников и других элементов здания с привязкой к реперу.

9.2.3 Стены

9.2.3.1 В зависимости от цели обследования и предполагаемого вида ремонта или реконструкции здания со стенами из мелкоштучных материалов *следует выполнять работы, указанные в таблице 9.5.*

Таблица 9.5 – Перечень работ, выполняемых дополнительно

Цель обследования здания	Работы, выполняемые в дополнение к общему обследованию
Текущий ремонт без смены перекрытий, без увеличения нагрузок и пробивки проемов	–
Модернизация, реконструкция или капитальный ремонт со сменой всех перекрытий	Механическое определение прочности материала стен, зондирование стен. Лабораторная проверка прочности материалов стен. Поверочный расчет
Выявление причин деформаций стен, трещин, перебивка проемов	Установка маяков. Местное зондирование стен. Механическое определение прочности материала стен. Поверочный расчет
Установление причин появления сырости на стенах и промерзаний	Местное зондирование стен. Исследование теплотехнических характеристик. Проверка гидроизоляции стен

9.2.3.2 Для определения конструкции и характеристик материалов стен производят выборочное контрольное зондирование. Общее число точек зондирования следует принимать по таблице 9.6.

Зондирование выполняют с учетом материалов общего обследования и проведенных ранее надстроек и пристроек. При зондировании отбира-

ют пробы материалов из различных слоев конструкции для определения влажности и объемной массы.

Таблица 9.6 – Минимальное количество точек зондирования

Количество секций в здании	Тип здания					
	с несущими каменными стенами			с железобетонным каркасом		
	с количеством этажей					
	до 3 включ.	4–5	св. 5	до 3 включ.	4–5	св. 5
1–2	3	3–4	4	2	2–3	3–4
3–4	5	5–7	7–8	3	3–4	4–5
Более 4	7	7–9	9–10	4	4–5	5–6

В местах исследования стены должны быть очищены от облицовки и штукатурки на площади, достаточной для проведения зондирования.

9.2.3.3 Прочность бетона, кирпича и раствора допускается определять неразрушающими методами в простенках и в сплошных участках стен в наиболее нагруженных сухих местах. Места с пластинчатой деформацией материала для испытаний непригодны. Число мест для освидетельствования стены и определения прочности ее элементов принимается по таблице 9.7.

Таблица 9.7 – Минимальное количество мест определения прочности кладки стен

Количество секций в здании	Количество этажей			
	1–2	3–4	5–6	7 и более
1–2	4–6	6–8	8–10	10–14
3	6–8	8–10	10–12	12–16
4	8–10	10–12	12–14	14–18
5	10–12	12–14	14–16	16–22
6	12–14	14–16	16–20	20–25
7	14–16	16–20	20–22	22–27
8 и более	16–20	20–22	22–25	25–30

Число мест уточняется в зависимости от величины коэффициента вариации прочности материалов в первой серии испытаний.

9.2.3.4 В тех случаях, когда прочность стен является решающей при определении возможности дополнительной нагрузки, прочность материалов должна устанавливаться лабораторными испытаниями.

Число образцов материалов для лабораторных испытаний при определении прочности стен из мелкоштучных материалов принимается с учетом конкретного конструктивного решения и размеров здания, но не менее пяти – для камня, и не менее 15 – для раствора.

9.2.3.5 Выявление пустот в кладке, наличие и состояние арматуры производится с использованием приборов или по результатам вскрытия.

9.2.3.6 При обследовании зданий с деформированными стенами необходимо определять величину отклонения от вертикали, искривления

или выпучивания стен, замер трещин в примыкании отклонившихся стен к смежным стенам, производить замер ширины трещин в перекрытиях.

9.2.3.7 При проверке сопротивления теплопередачи стен *измеряются*: температура внутренней и наружной поверхностей стен и окон, тепловые потоки, проходящие через ограждающие конструкции, температура внутреннего и наружного воздуха, влажность внутреннего воздуха, влажность и объемная масса материала стен, скорость и направление ветра.

Для определения причин промерзания стен теплотехнические исследования выполняют в помещении, имеющем промерзающие стены, и в одном из помещений, не имеющем промерзающих стен. Границу распространения дефекта следует определять обследованием смежных помещений.

Для определения необходимости проведения сплошного дополнительного утепления стен здания обследованию подлежит не менее трех помещений, расположенных на первом, среднем и верхнем этажах, преимущественно северной ориентации.

9.2.3.8 Места проведения зондирования, вскрытий, взятия проб, испытаний прочности указываются на обмерных чертежах.

9.2.3.9 При инструментальном обследовании каменной кладки *устанавливают*:

- а) параметры трещин в стенах, столбах, простенках и перегородках:
 - количество рядов кладки, которое пересекает трещина;
 - длина трещины;
 - угол наклона трещины;
 - ширина раскрытия трещины (максимальная и не менее чем в трех местах по длине трещины);
 - глубина раскрытия трещины (максимальная и не менее чем в трех местах по длине трещины);
 - число трещин на 1 м ширины (длины) конструкции;
 - картина трещинообразования в целом;
 - характер трещинообразования (трещины от перенапряжения кладки, вызванные неравномерной осадкой фундаментов, температурными и усадочными воздействиями, другими факторами).

При обширном повреждении стены трещинами отмеченные выше показатели фиксируются *следующим образом*:

- максимальный показатель по длине конструкции;
- показатели на 1 м длины стены;
- не менее чем в трех местах по длине стены;
- в наиболее напряженных зонах (под опорами балок, в зоне стыков со стенами перпендикулярного направления, при изменении (перепадах) нагрузки, толщины, высоты и при других локальных воздействиях).

Особо фиксируются участки, когда вертикальные трещины пересекают более восьми рядов кладки с расслоением последней на отдельные

столбики, что свидетельствует о предельной стадии работы кладки под нагрузкой;

б) отклонение стен, столбов, простенков и перегородок от вертикали, выпучивание, прогибы и выгибы конструкций:

– показатели определяются в расчете на высоту этажа и на высоту конструкции в целом не менее чем в трех сечениях по длине и через расстояние не более высоты этажа и высоты конструкции, а также в сечении с максимальным показателем;

– вычисляется отношение отклонения от вертикали к высоте конструкции в пределах этажа, к полной высоте конструкции. Это отношение представляется в виде дроби: 1/50, 1/60 и т. д.;

в) качество кладки:

– устанавливается, через сколько рядов и через какое расстояние выполнены тычковые ряды в пределах высоты конструкции, высоты этажа. Вычисляется средний процент превышения расстояния между тычковыми рядами (по количеству рядов) в расчете на 1 м высоты кладки, высоты этажа, высоты конструкции, причем средний по длине конструкции, определяемый не менее чем в трех вертикальных сечениях по длине конструкции;

– фиксируется отсутствие заполнения раствором (глубиной более 10 мм) вертикальных и горизонтальных швов – по отдельности. Вычисляется линейный процент отсутствия заполнения раствором вертикальных или горизонтальных швов в расчете на 1 м² вертикальной поверхности стены. При этом на 1 м² поверхности замеряется длина пустых швов $l_{\text{п}}$, мм, и суммарная длина швов l , мм. Линейный процент отсутствия заполнения раствором вертикальных или горизонтальных швов $\mu_{\text{п}}$, %, определяется по формуле

$$\mu_{\text{п}} = \frac{l_{\text{п}}}{l} \cdot 100 \%. \quad (9.4)$$

Линейный процент $\mu_{\text{п}}$ определяется для наиболее поврежденного участка (максимальный), а также не менее чем на трех участках поверхности стены (для определения среднего значения) по длине стены в пределах каждого этажа.

Для швов, выполненных в пустошовку или подвергшихся размораживанию и выветриванию, определяются, помимо этого, еще две величины:

1) глубина горизонтальной пустошовки в миллиметрах и в процентах по отношению к толщине конструкции. При этом замеры выполняются на участке вертикальной поверхности площадью 1 м² (1×1 м) не менее чем в трех точках по длине данного шва, не менее чем в каждом шве в пределах шага перевязки по высоте, но не менее чем в трех горизонтальных швах и, в целом, не менее чем в 10 точках в пределах 1 м² исследуемой поверхности;

2) объемный процент горизонтальной пустошовки. При этом определяется на 1 м² поверхности (1×1 м) суммарная длина горизонтальных швов l , мм, суммарная длина пустых швов $l_{\text{п}}$, мм, средняя глубина пустошовки $h_{\text{п}}$, мм. Объемный процент горизонтальной пустошовки $\mu_{\text{оп}}$, %, определяется по формуле

$$\mu_{\text{оп}} = \frac{l_{\text{п}} h_{\text{п}}}{lh} \cdot 100 \%, \quad (9.5)$$

где h – толщина стены, мм.

Аналогично определяются глубина и объемный процент вертикальной пустошовки.

Все параметры пустошовки определяются, по возможности, по результатам обследования конструкции (например, стены) с обеих сторон одного и того же участка.

При обширных поверхностях описанные выше параметры определяются не менее чем на трех участках по длине (среднее значение) и на наиболее поврежденном участке (максимальное значение);

– устанавливается нарушение горизонтальности рядов кладки. Определяется отклонение от горизонтали; на всей длине участка, где имеется отклонение одного направления – вверх или вниз (максимальное отклонение). Определяются отношение отклонения к длине, на которой оно замерено (уклон в виде отношения: 1:50, 1:65 и т. д.), средний уклон (по всей длине участка с отклонением) и максимальный уклон (на длине участка с резким переломом).

Указанные параметры определяются в пределах длины (ширины) простенка, стены, столба. Кроме того, определяется отношение (в процентах) высоты кладки, выполненной с отклонением от горизонтали, к общей высоте конструкции в пределах этажа, а при обширной длине конструкции (стен) определяется также отношение (в процентах) длины кладки, выполненной с отклонением от горизонтали, к общей длине конструкции;

– устанавливается увеличение толщины горизонтальных швов по сравнению с нормативным значением. При этом толщина швов измеряется в миллиметрах. Устанавливается количество утолщенных швов на 1 м высоты кладки. На характерном участке поверхности стены размером 1×1 м не менее чем в 10 точках замеряется толщина шва и рассчитывается среднее превышение толщины по сравнению с нормативной. Этот показатель определяется для трех участков конструкции и по ним принимается среднее значение. Кроме того, фиксируется максимальное значение этого показателя (отклонения) в миллиметрах и в процентах;

– фиксируются местные повреждения камней (в виде сколов, раздробления, мелких трещин, раковин) в расчете на 1 м² поверхности (1×1 м). Определяется процентное содержание поврежденных камней в

общем количестве камней на указанной площади. При обширной поверхности определяется среднее значение по трем участкам по длине стены;

- фиксируются отклонения размеров сечения столбов и простенков, толщины стен от проектных значений. При этом размеры определяются в миллиметрах в расчетных сечениях по высоте конструкции, но не менее чем в трех сечениях. Для стен – не менее чем в трех вертикальных сечениях по длине стены, но не реже чем высота этажа.

Помимо установления абсолютных размеров сечения конструкции рассчитывается величина отклонения площади сечения от проектных размеров в процентах;

- г) степень повреждения кладки вследствие размораживания, огневого поражения, механических воздействий и т. п.

На поверхности площадью в 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$) фиксируется глубина разрушенной кладки в миллиметрах не менее чем в 10 точках. При этом с поверхности удаляются поврежденные слои кладки. По высоте конструкции участок выбирается в расчетных сечениях. При большой длине конструкций исследование проводится не менее чем на трех участках по длине конструкции, расположенных друг от друга на расстоянии, не меньшем чем высота этажа.

После этого *вычисляются*:

- степень разрушения в виде отношения глубины разрушения к высоте сечения кладки в процентах;

- степень разрушения в виде отношения оставшейся площади сечения к проектной (для столбов и простенков, получивших повреждения со всех сторон) в процентах;

Параметры данного пункта определяются путем обследования участков со всех сторон конструкции (для стен – с обеих сторон), т. е. находящихся на одном уровне по высоте – в одном вертикальном сечении. Параметры определяются для фактических размеров участка повреждений;

- при обширном повреждении поверхности конструкции определяется отношение площади поврежденной поверхности к общей площади вертикальной поверхности конструкции в процентах;

- д) фактическое армирование конструкций.

Определяется наличие армирования по выступающим концам стержней либо путем вскрытия горизонтальных швов кладки. Армирование конструкции считается установленным, если шаг сеток определен на половине высоты конструкции (в пределах этажа), но не менее чем в трех горизонтальных швах, идущих последовательно с регулярным шагом, включая расчетное сечение. В каждом обследованном сечении определяется ячейка сетки и диаметр стержней сетки или арматуры. Вид арматуры устанавливается в случае необходимости путем испытаний образцов арматуры, вырезанных из сеток в количестве не менее трех образцов. Обследованию на предмет установления армирования подлежат не менее 30 % однотипных конструкций. Установленный по результатам обследо-

дования объемный коэффициент (процент) косвенного армирования сравнивается с требованиями проектной документации и ТНПА;

е) увлажнение каменных конструкций:

- фиксируется увлажнение каменной кладки вследствие повреждения гидроизоляции, у карнизных свесов, водосточных труб, цокольной части у отмоксти, вокруг проемов и т. п.;

- определяется характер увлажнения (постоянное увлажнение, периодическое, эпизодическое, случайное);

- определяется степень увлажнения – отношение площади увлажненной поверхности конструкции к общей площади конструкции в пределах длины конструкции и высоты этажа, высоты конструкции – выраженная в процентах;

ж) повреждения каменной кладки под опорами балок:

- количество рядов кладки, которое пересекает трещина;

- длина трещины;

- ширина раскрытия трещины;

- характер трещины;

- количество трещин под опорой по длине площадки опирания;

- глубина повреждения камней под опорой балки (раздробление камней, лещадки, сколы);

- фиксируется сдвиг слоев (рядов) кладки по горизонтальному шву или косой штрабе под опорами балок, в частности, при опирании на пилястры;

- устанавливается длина сдвига по горизонтали в миллиметрах и в долях от длины площадки опирания в виде дроби: $1/4$, $1/5$ и т. д.;

- устанавливается количество слоев (рядов кладки) сдвига по высоте, высота сдвига в миллиметрах, отношение высоты сдвига к длине площадки опирания (тангенс угла сдвига);

- определяется качество перевязки кладки под опорами балок, имея в виду, что рекомендуется цепная перевязка в пределах 10 рядов под опорой балки;

- устанавливается возможное армирование кладки под опорами балок, опирающихся на пилястры, при величине опорной реакции ≥ 100 кН, рекомендуемое нормами, в пределах 10 рядов под опорой (на 1 м по высоте).

Перечисленные показатели определяются при выборочном обследовании не менее 30 % типовых участков опирания балок.

9.2.3.10 Результаты обследования представляют в графическом (на планах, развертках и т. д.) и в табличном виде, с указанием численных значений, описанных выше параметров дефектов и их местоположения в форме, наиболее удобной для последующего анализа.

9.2.3.11 В зависимости от цели обследования и предполагаемого вида ремонта или реконструкции здания со стенами из панелей и крупных блоков необходимо выполнять работы, указанные в таблице 9.8.

9.2.3.12 При обследовании стен полносборных зданий необходимо определить их конструкцию, физико-механические характеристики материалов стен, герметичность стыковых соединений, а также оценить состояние арматуры и металлических закладных деталей, утеплителя и материалов заделки стыков.

9.2.3.13 Для оценки состояния стен, поврежденных трещинами, необходимо выявить причину возникновения трещин. При этом производят визуальный осмотр наружных и внутренних поверхностей стен, выявление поврежденных участков, фиксацию направления трещин, измерение глубины и ширины их раскрытия, вскрытие участков с трещинами для оценки состояния бетона и арматуры, постановку маяков и длительные наблюдения за раскрытием трещин в стенах для установления динамики их раскрытия.

9.2.3.14 Состояние герметизации стыков наружных стен следует определять по наличию протечек, а также вскрытием стыков и оценкой состояния материалов заполнения и адгезии герметика.

Число участков стыков, подлежащих обследованию, должно быть не менее 20, дефектные стыки обследуются в обязательном порядке. Оценка воздухопроницаемости стыков проводится по СТБ 1479.

Таблица 9.8 – Работы, выполняемые дополнительно

Цель обследования здания	Работы, выполняемые в дополнение к общему обследованию
Текущий ремонт	—
Модернизация, реконструкция и капитальный ремонт	Оценка состояния стен и стыков наружных стеновых панелей или блоков. Вскрытие связей и закладных деталей. Определение прочности материалов несущих стен. Исследование теплотехнических характеристик. Поверочный расчет. Определение звукоизоляции внутренних и наружных стен
Выявление причин деформаций стен	Оценка состояния стен. Установка маяков. Местное зондирование стен. Определение прочности материала конструкций. Вскрытие связей и закладных деталей. Определение геометрических параметров стен (в том числе параметров армирования). Поверочный расчет
Установление причин появления сырости на стенах и промерзаний	Определение состояния стыков наружных стен. Местное зондирование стен. Исследование теплотехнических характеристик. Проверка гидроизоляции стен

9.2.3.15 Для обследования состояния связей и закладных деталей в первую очередь необходимо выбрать конструктивные узлы, находящиеся в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации (наличие протечек, про-

мерзаний, высокая влажность воздуха в помещениях, наличие на поверхности бетона ржавых пятен, разрушение защитного слоя бетона и др.).

Места расположения закладных деталей и связей устанавливаются по проектной документации, в каждом конкретном узле их расположение уточняется с помощью металлоискателя.

9.2.3.16 Количество вскрытий устанавливают в зависимости от размеров здания и его технического состояния, но не менее пяти узлов. При осмотре вскрытых деталей следует определять качество сварки и омоноличивания их бетоном, наличие, характер и размер повреждения коррозией, толщину поврежденного коррозией элемента после очистки.

В случае обнаружения по сечению более 30 % поврежденных коррозией деталей необходимо вскрыть еще несколько аналогичных узлов в здании и выполнить поверочные расчеты.

9.2.3.17 При вскрытиях выявляют состояние бетона, окружающего металлические элементы, по степени карбонизации с помощью фенолфталеиновой пробы и другими методами.

9.2.3.18 Прочность бетона панелей определяют неразрушающими методами для выявления причин возникновения силовых трещин, а также при необходимости передать дополнительные нагрузки. Число участков для определения прочности бетона панелей должно быть не менее 25. Прочность поврежденных участков определяют в обязательном порядке.

9.2.3.19 В тех случаях, когда прочность бетона и стальных связей является решающей для определения возможности восприятия дополнительной нагрузки, необходимо проводить лабораторные испытания извлеченных образцов бетона.

9.2.3.20 Для определения несущей способности панелей необходимо проводить поверочные расчеты. Должны учитываться фактические геометрические размеры расчетных сечений, а также перемещения, изгиб, отклонения от вертикали, эксцентриситеты, которые определяются измерениями.

9.2.3.21 При оценке несущей способности внутренних панелей следует определять эксцентриситеты их опирания в стыках, величину опирания перекрытий на стену, полноту заполнения стыков; проводить лабораторные испытания прочности раствора в платформенном стыке. Число образцов для испытаний берут не менее чем из шести стыков.

Вскрытие наружных стен выполняют для установления их конструкций, наличия внутренних расслоений легкого бетона, осадки утеплителя, а также для взятия проб материалов и определения их влажности, объемной массы, толщины слоев.

Число мест вскрытия определяют по таблице 9.6.

Для установления причин промерзаний вскрытию подлежит наряду с промерзающими панелями (блоками) и одна из непромерзающих панелей (блоков).

9.2.3.22 Число обследуемых наружных стеновых панелей с оценкой их теплотехнических свойств следует принимать по таблице 9.9.

Для общественных и производственных зданий при определении количества обследуемых панелей необходимо учитывать требования ТКП 45-1.04-208.

Таблица 9.9 – Минимальное число обследуемых стеновых панелей

Срок службы здания или срок службы здания после капитального ремонта, лет	Количество квартир в доме					
	до 60 включ.	61–100	101–150	151–250	251–300	св. 300
До 10 включ.	3–4	4–5	5	5–6	6	6–8
От 11 до 15 включ.	5	5	5–8	6–8	7–8	8–10
От 16 и более	5	5–8	6–8	8–10	10–13	13

9.2.3.23 При обследовании стен деревянных зданий необходимо установить наличие деформаций, мест, пораженных гнилью, грибом, жуками, и других дефектов.

9.2.3.24 Для определения вида поражения и активности процесса разрушения образцы древесины необходимо отправлять на анализ в микологическую лабораторию. Образцы выбирают из наиболее пораженных участков стен. По каждому зданию следует отбирать не менее трех образцов из трех отдельных участков вскрытия. В одном образце должна быть представлена как здоровая, так и пораженная древесина (на границе перехода). При наличии наружных грибковых образований образец берется вместе с ними. Размеры образцов рекомендуется принимать 15×10×5 см (для досок 15×5×2 см).

Для установления причин гниения и разрушения древесины выполняют измерения влажности древесины в местах взятия проб, воздухообмена в помещении (скорости движения воздуха в подполье и др.), влажности и температуры воздуха в помещении.

Проверка наличия и глубины проникновения антисептиков в древесину производится по изменению цвета древесины в пробе.

9.2.3.25 Измерение влажности деревянных элементов и засыпки следует производить при обнаружении признаков отсыревания и промерзания стен. Оценка состояния материала засыпки (утеплителя), его объемной массы производится по образцу, вынутому полым буром из конструкции. Число отверстий для взятия проб должно быть не менее трех.

Одновременно проверяется стальным щупом плотность законопачивания щелей, зазоров стен и проемов, трещин в брусках и бревнах.

9.2.3.26 Должны измеряться деформации стен (отклонения от вертикали, горизонтальные перемещения, смещения податливых соединений).

9.2.3.27 Измерение уровня шума в помещениях следует производить при наличии внешних (транспортные магистрали, промышленные предприятия, отдельно стоящие магазины и др.) и внутренних (лифты, ко-

тельные, холодильные установки встроенных магазинов и др.) источников шума, если есть подозрения о нарушении нормативных требований по шумозащите.

В необходимых случаях выполняют измерение звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций. При неудовлетворительном результате измерений должны быть установлены (с помощью вскрытия конструкций или отдельных узлов) причины пониженной звукоизоляции.

9.2.4 Перегородки

9.2.4.1 В зависимости от цели обследования и предполагаемого вида ремонта здания при обследовании перегородок необходимо выполнять работы, указанные в таблице 9.10.

Таблица 9.10 – Работы по обследованию перегородок, выполняемые дополнительно

Цель обследования здания	Работы, выполняемые в дополнение к общему обследованию
Текущий ремонт здания без смены перекрытий и без перепланировки	Определение характера работы и конструкции перегородок, оценка их устойчивости, прочности, звукоизоляции
Капитальный ремонт с частичной сменой перекрытий или перепланировкой (для оставаемых перегородок)	Определение характера работы и конструкции перегородок, проверка их устойчивости, прочности и звукоизоляции
Капитальный ремонт отдельных деформированных несущих перегородок	Определение характера работы и конструкции деформированных перегородок, а также причин их деформации

9.2.4.2 Конструкцию перегородки следует определять внешним осмотром, а также простукиванием, высверливанием, пробивкой отверстий и вскрытием в отдельных местах. Расположение стальных деталей крепления каркаса перегородок следует определять по проектной документации и уточнять металлоискателем или вскрытием.

9.2.4.3 При обследовании несущих деревянных перегородок следует обязательно вскрывать верхнюю обвязку в местах опирания балок перекрытия на каждом этаже.

9.2.4.4 Устойчивость перегородок определяется в зависимости от характера работы и размеров конструктивных элементов расчетом с учетом действующих нагрузок.

9.2.4.5 В необходимых случаях выполняют измерение звукоизоляции межквартирных перегородок. При неудовлетворительном результате должны быть установлены (с помощью вскрытия конструкций) причины неудовлетворительной звукоизоляции.

9.2.4.6 При обследовании измеряются обнаруженные выпучивания, продольные изгибы перегородок, отклонения от вертикали; оценивается

состояние участков перегородок в местах расположения трубопроводов, санитарно-технических приборов; сцепление штукатурки с поверхностью перегородок и другие повреждения.

9.2.5 Колонны

9.2.5.1 В зависимости от цели обследования и предполагаемого вида ремонта или реконструкции здания при обследовании колонн следует выполнять работы, указанные в таблице 9.11.

Таблица 9.11 – Работы по обследованию колонн, выполняемые дополнительно

Цель обследования здания	Работы, выполняемые в дополнение к общему обследованию
Текущий ремонт без увеличения нагрузок	—
Реконструкция или капитальный ремонт со сменой всех перекрытий, выявление причин деформаций и дефектов, увеличение грузоподъемности кранов	Определение прочности бетона на сжатие, наличия армирования, степени коррозии металла, причин деформаций, химический анализ стали, поверочный расчет колонн

9.2.5.2 Толщина защитного слоя бетона в железобетонных колоннах, расположение арматуры, ее диаметр в железобетонных и кирпичных колоннах должны устанавливаться электромагнитным методом или вскрытием.

9.2.5.3 Прочность бетона в колоннах следует определять неразрушающими методами. В случае необходимости применяются разрушающие методы испытаний с выпиливанием образцов по ГОСТ 10180.

При контрольном вскрытии и взятии образцов участки необходимо назначать с таким условием, чтобы снижение прочности, трещиностойкости и жесткости было минимальным.

9.2.5.4 Число колонн для определения прочности должно приниматься в соответствии с ТКП 45-1.04-208. При контроле отдельных конструкций расположение, количество контролируемых участков и количество измерений на контролируемом участке должно отвечать действующим стандартам.

9.2.5.5 Конструкции металлических колонн необходимо обследовать с учетом требований ТКП 45-5.04-49.

9.2.5.6 Деформации (отклонения от вертикали) следует определять методом вертикального проецирования по ГОСТ 26433.2.

Для ведения наблюдений за раскрытием трещин необходимо устанавливать контрольные маяки.

9.2.5.7 Окончательно степень опасности выявленных повреждений и возможность эксплуатации колонн устанавливается поверочным расче-

том с учетом их формы, ориентации к действующей силе, размера и взаимного расположения дефектов.

9.2.6 Перекрытия

9.2.6.1 В зависимости от цели обследования здания и предполагаемого вида ремонта следует выполнять работы по обследованию перекрытий, указанные в таблице 9.12.

Таблица 9.12 – Работы, дополнительно

Цель обследования здания	Работы, выполняемые в дополнение к общему обследованию
Текущий ремонт без смены перекрытий и без увеличения нагрузок	–
Капитальный ремонт, модернизация, реконструкция с увеличением нагрузок	Выполнение вскрытий. Составление планов перекрытий и статической схемы работы. Поверочные расчеты. Испытание пробной нагрузкой
Выявление причин деформаций и трещинообразования перекрытий	Инструментальные измерения деформаций. Определение прочностных характеристик материалов. Выполнение вскрытий. Лабораторные анализы материалов перекрытий. Поверочные расчеты

9.2.6.2 При обследовании железобетонных перекрытий необходимо определить геометрические размеры конструкции и ее сечений, прочность бетона, толщину защитного слоя бетона, расположение и диаметр арматурных стержней.

9.2.6.3 Число мест вскрытий при проведении обследования определяют по таблице 9.13.

Таблица 9.13 – Минимальное количество мест вскрытий

Перекрытия	Число мест вскрытий в перекрытиях при их обследуемой площади, м ²					
	до 100 включ.	101– 500	501– 1000	1001– 2000	2001– 3000	св. 3000
Деревянные:						
по деревянным балкам	3	3–7	7–12	12–15	15–20	20–25
по металлическим балкам	2	2–5	5–6	6–7	7–10	10–12
в том числе для лабораторных анализов	1	1–3	2–3	3	3–4	4–5

Окончание таблицы 9.13

Перекрытия	Число мест вскрытий в перекрытиях при их обследуемой площади, м ²
------------	--

	до 100 включ.	101– 500	501– 1000	1001– 2000	2001– 3000	св. 3000
Несгораемые: кирпичные своды, монолитные железобетонные своды и сборные железобетонные плиты по металлическим балкам	1	1–2	2	2–3	3–4	4–5

Вскрытия выполняют в наиболее неблагоприятных зонах (у наружных стен, в санитарных узлах и т. п.).

При отсутствии признаков повреждений деревянных перекрытий число вскрытий допускается уменьшить, заменив часть вскрытий осмотром труднодоступных мест оптическими приборами (типа эндоскопа) через предварительно просверленные отверстия в полах.

9.2.6.4 При вскрытии деревянных перекрытий *необходимо*:

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

- определить качество древесины балок и материалов заполнения путем механического зондирования, взятия проб и образцов для лабораторного анализа;

- установить границы повреждения древесины.

9.2.6.5 Для железобетонных и сталебетонных перекрытий *следует*:

- снять штукатурку со стальных балок для определения степени коррозии;

- определить толщину сводов и железобетонных плит, опирающихся на балки;

- установить степень замоноличивания настилов между собой;

- определить состояние гидроизоляции в санузлах, кухнях и ванных комнатах, наличие звукоизолирующих прокладок между конструкцией пола и перекрытием;

- определить сечение и шаг несущих конструкций.

9.2.6.6 На чертежах вскрытий *необходимо указать*:

- размеры несущих конструкций;

- положение, вид и сечение арматуры, степень ее коррозии;

- расстояние между несущими конструкциями;

- вид и толщину наката, размеры лаг и расстояния между ними;

- глубину опирания перекрытий;

- вид и толщину слоя замазки по накату;

- вид и толщину слоя засыпки;

- толщину плит и сводов для несгораемых перекрытий.

9.2.6.7 Кроме параметров кирпичных сводов, определяемых общим обследованием, после вскрытия полов и снятия штукатурки *необходимо выяснить*:

- систему кладки свода и его элементов;
- толщину свода в замке, у пяты и в промежуточных сечениях (при переменной толщине);
- параметры «гуртов» и «колец» на верхней поверхности сводов;
- параметры и материал засыпки пазух;
- схему опирания несущих элементов пола на свод;
- прочностные характеристики и дефекты кладочных материалов.

9.2.6.8 На планах обследованных перекрытий по результатам общего и детального обследования должны быть указаны:

- места расположения и размеры несущих конструкций;
- пролеты балок и прогонов, расстояние между ними;
- места вскрытий;
- места инструментальных обследований;
- участки перекрытий с деформациями, повреждениями, ослаблением сечений, протечками и т. п.

9.2.6.9 В квартирах, расположенных над встроенными помещениями, подвалами, необходимо производить измерение влажности воздуха.

9.2.7 Балконы, карнизы, козырьки

9.2.7.1 В зависимости от цели обследования и предполагаемого вида ремонта здания, при обследовании конструкций балконов, карнизов и козырьков следует выполнять работы, приведенные в таблице 9.14.

Таблица 9.14 – Работы, выполняемые дополнительно

Цель обследования здания	Работы, выполняемые в дополнение к общему обследованию
Выявление состояния балконов, карнизов, козырьков при постановке на капитальный ремонт	Выполнение вскрытий. Механическое определение прочности материалов
Выявление причин деформаций балконов, карнизов, козырьков	Выявление характера деформаций. Выполнение вскрытий. Механическое определение прочности материалов. Поверочные расчеты. Испытания конструкций балконов пробным нагружением

9.2.7.2 Вскрытия необходимо производить для установления сечений несущих элементов и оценки состояния заделки их в стену, креплений к закладным деталям смежных элементов, ограждений, степени их коррозии. Места вскрытий назначают исходя из расчетной схемы работы конструкций балконов, карнизов, козырьков. Измерение трещин железобетонных конструкций, прогибов, уклонов, толщины защитного слоя бетона,

сечения арматуры и определение прочности бетона выполняют методами, изложенными в действующих ТНПА.

9.2.7.3 Необходимо производить вскрытие и механическое определение прочности конструкций всех балконов, имеющих повреждения, половина из которых выбирается на последнем этаже, а при отсутствии повреждений – не менее двух балконов на каждом фасаде здания.

9.2.7.4 Поверочные расчеты конструкций балконов, козырьков необходимо выполнять для определения расчетных усилий, несущей способности и необходимости их усиления.

9.2.7.5 Испытания пробным нагружением проводят в случае, если материалы вскрытия и расчетные данные не дают представления о работе конструкции. Пробные нагружения целесообразно выполнять с помощью инвентарных приспособлений для испытаний балконов (гидравлических или канатных).

В особых случаях допускается нагружать конструкцию до разрушения, приняв меры по предотвращению повреждения смежных конструкций. Испытания проводят по ГОСТ 8829.

9.2.8 Лестницы

9.2.8.1 В зависимости от цели обследования и предполагаемого вида ремонта здания следует выполнять работы по обследованию лестниц, указанные в таблице 9.15.

Таблица 9.15 – Работы, дополнительно

Цель обследования здания	Работы, выполняемые в дополнение к общему обследованию
Текущий ремонт	–
Выявление причин деформаций лестниц	Установление причин образования трещин, чрезмерных деформаций. Выполнение вскрытий. Поверочные расчеты

9.2.8.2 При обследовании лестниц *должны быть установлены:*

- конструктивные особенности лестниц, прочностные характеристики применяемых материалов;
- деформации несущих конструкций;
- влажность и признаки поражения древесины деревянных элементов.

9.2.8.3 Следует выполнять контроль ширины раскрытия трещин, прогибов элементов лестниц, наличие закладных деталей, толщину защитного слоя бетона, параметры армирования и степень коррозии металлических элементов.

9.2.8.4 При установлении причин деформаций и повреждений лестниц из сборных железобетонных элементов необходимо выполнять вскрытия в местах заделки лестничных площадок в стены, опор лестничных маршей. Для каменных лестниц по металлическим косоурам – в ме-

стах заделки в стены балок лестничных площадок. При бескосоурных висячих каменных лестницах проверяют прочность заделки ступеней в кладку стен.

При осмотре деревянных лестниц по металлическим косоурам и деревянным тетивам производят вскрытие мест заделки балок в стены и вскрытие деревянных конструкций для определения вида и границ повреждения элементов.

9.2.9 Кровли, покрытия, стропильные конструкции

9.2.9.1 Обследование несущих конструкций чердачных перекрытий и покрытий выполняют в том же объеме, что и конструкций междуэтажных перекрытий.

9.2.9.2 При детальном обследовании стропил и ферм *следует*:

- выполнить обмеры элементов и конструкций, узлов их опирания и составление планов и схем;

- установить величины основных деформаций системы (прогибы и удлинение пролета балочных покрытий, углы наклона сечений элементов и узлов ферм), смещения податливых соединений (взаимные сдвиги соединяемых элементов, обмятие во врубках и примыканиях), вторичных деформаций разрушения и других повреждений (трещины скалывания, складки сжатия и др.);

- определить наличие и количественные характеристики биологических, энтомологических коррозионных повреждений элементов, наличие гидроизоляции между деревянными и каменными конструкциями;

- определить параметры температурно-влажностного режима эксплуатации элементов кровли и параметры агрессивности среды, оценить соответствие параметров обеспечивающих необходимый воздухообмен в помещении;

- определить влажность древесины;

- определить физико-механические характеристики материалов;

- определить наличие и состояние биоогнезащитной обработки древесины;

- оценить соответствие объекта в целом и его деревянных элементов требованиям пожарной безопасности;

- оценить надежность крепления деревянной отделки.

9.2.9.3 При обследовании узловых соединений *следует определить*:

- тип и схему соединения;

- фактическую схему передачи усилий;

- расстановку соединительных элементов (гвоздей, нагелей, заклепок и др.);

- фактические размеры и положение соединительных элементов по отношению к усучечным трещинам в деревянных элементах;

- размеры и состояние рабочих площадок узловых соединений, целостность и плотность соединений, зазоры и эксцентриситеты.

9.2.9.4 При наличии в обследуемой деревянной конструкции металлических рабочих частей отмечают имеющиеся в них деформации и разрушения.

Из разрушенных деревянных элементов отбирают образцы древесины для определения влажности и механических испытаний. Число образцов для механических испытаний принимают не менее трех.

9.2.9.5 При детальном обследовании покрытий *выполняют*:

- отбор проб и образцов материалов из элементов и конструкций для лабораторных исследований;

- определение температурно-влажностного режима, запыленности, загазованности, выявление участков отложения пыли на кровле и конструкциях и величину соответствующей дополнительной нагрузки;

- проверку теплотехнических свойств конструкций покрытия.

9.2.9.6 При обследовании металлических конструкций покрытия следует обращать внимание на дефекты, приведенные в приложении Г.

9.2.9.7 При обследовании чердачных перекрытий следует проверять толщину слоя, влажность и объемную массу утеплителя (засыпки).

9.2.9.8 В местах увлажнения необходимо производить вскрытия чердачных перекрытий, парапетных плит для оценки состояния арматуры, закладных деталей и бетона омоноличивания.

9.2.9.9 При вскрытии кровли определяют: состав кровли, наличие пароизоляции, толщину слоев покрытия, величину нахлестки полотнищ, состояние выравнивающего слоя утеплителя.

Количество вскрытий кровли назначают в соответствии с конкретными задачами исследований, но не менее пяти на площади до 1000 м² в местах достаточно удаленных друг от друга, включая ендовы и конек. На каждые последующие 1000 м² добавляется три вскрытия. Если по результатам проведенных вскрытий выявлен большой разброс данных по составу, толщине слоев и их массе, необходимо выполнять дополнительные вскрытия до прояснения ситуации. Защитный слой рулонной кровли вскрывают на участке размером примерно 30×30 см. В середине вскрытого участка пробивают отверстие в стяжке размером 15×15 см. Утеплитель и пароизоляцию вскрывают по тем же сечениям. После этого составляют эскизы конструкций с послойным описанием материалов, отобранных для определения их влажности, объемного веса и коэффициента теплопроводности.

По окончании работ места вскрытий заделываются аналогичными материалами.

Для сохранения естественной влажности отработанные пробы упаковывают в полиэтиленовые мешочки и тщательно герметизируют.

Теплотехнические качества покрытия необходимо определять в зимний период эксплуатации при низких температурах наружного воздуха.

Пробы утеплителя рекомендуется отбирать весной, к концу периода влагонакопления и в конце летнего периода. При этом из утеплителя вырезают призму размером 10×10 см на всю толщину.

9.2.9.10 При обследовании кровли в соответствии с СНБ 5.08.01 *следует определять:*

- места протечек кровли и скопления воды в подстилающих слоях;
- наличие трещин, вздутий водоизоляционного ковра при сплошной наклейке;
- наличие воды между отдельными слоями водоизоляционного ковра;
- степень деструктивных изменений (гниение, утрата пластических свойств, снижение прочности и деформативности, изменение теплотехнических характеристик) водоизоляционных материалов и теплоизоляции.

9.2.10 Окна и двери

9.2.10.1 При обследовании оконных и дверных заполнений *необходимо определять:*

- деформации и повреждения элементов заполнений;
- состояние наружных водоотводящих устройств: места и характер осаждения конденсата на остеклении, места протечек и промерзаний;
- состояние древесины, ее влажность;
- состояние уплотнений между оконными и дверными коробками и стенами.

9.2.10.2 Состояние уплотнений между оконными и дверными коробками и стенами, состояние древесины коробок и их крепление необходимо определять при детальном обследовании путем вскрытия примыканий.

Испытания оконных заполнений на воздухопроницаемость следует проводить согласно ГОСТ 25891.

9.2.10.3 Общее число оконных заполнений в здании, подлежащих детальному обследованию, следует принимать по таблице 9.16.

Таблица 9.16 – Общее число оконных проемов, подлежащих детальному обследованию

Срок службы оконных заполнений или их срок службы после капитального ремонта, лет	Количество квартир в доме						
	до 60 включ.	61–100	101–150	151–200	201–250	251–300	св. 300
До 10 включ.	3	3–4	4–5	5	5–6	6	6–7
От 11 до 15 включ.	4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	9–10
От 16 до 20 включ.	5	5–6	6–7	7–8	8–10	10–12	12–15
Св. 20	6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–20

9.3 Дополнительные положения по обследованию зданий и сооружений со специфическими эксплуатационными воздействиями производственного оборудования и при наличии особых геологических условий

9.3.1 Высокие и повышенные температуры

Обследование строительных конструкций в условиях воздействия высоких или повышенных температур *должно включать:*

- наблюдение за состоянием теплоизоляции конструкций и теплоизоляционных экранов;

- выявление трещин, раскрошивание бетона и изменение его цвета в железобетонных элементах и конструкциях;

- выявление коробления, деформаций и прожогов металла в стальных элементах и конструкциях и т. п. В частности, выявляются:

- коробление стальных настилов и других стальных элементов рабочих площадок вследствие нагрева;

- коробление, разрывы стальных швов, прожоги и падение элементов стальных экранов;

- разрушение креплений, падение экранов из чугуна;

- растрескивание, рыхлая структура, нарушение связи между частицами штукатурных покрытий, бетона и других неметаллических материалов.

В случаях появления таких дефектов необходимо выполнить детальное обследование для определения возможности дальнейшей эксплуатации конструкций, а также их ремонта.

9.3.2 Низкие температуры

9.3.2.1 В охлаждаемых помещениях необходимо проводить обследование конструкции пола и системы обогрева для определения фактического коэффициента теплопередачи и состояния элементов конструкции пола с подогревом по грунту 1 раз в 12 лет или немедленно при появлении признаков неудовлетворительного состояния этой конструкции (видимые деформации или разрушения, увеличение нагрузки на холодильное оборудование и т. д.).

9.3.2.2 При обследовании теплоизоляции стен, перегородок и перекрытий *проверяют и (или) устанавливают* следующие основные дефекты:

- устойчивые пятна сырости на наружных поверхностях стен;

- разрушение штукатурки, расслоение, отслоение и выпучивание теплоизоляции наружных стен;

- выпадение капельного конденсата, образование наледей на поверхностях внутренних стен и перегородок со стороны помещений с более высокими температурами;

- выпадение капельного конденсата, иней на потолках нижележащих помещений с более высокой температурой;

- повышение или понижение нормируемой температуры воздуха в помещении над полом или под потолком;
- характерный запах плесени или гнили при вскрытии штукатурки;
- понижение температуры грунта и его промерзание при неисправной работе системы обогрева;
- общее повышение температуры в охлаждаемых помещениях.

9.3.2.3 При обследовании теплоизоляции покрытия здания над охлаждаемыми помещениями *проверяют и (или) устанавливают* следующие основные дефекты:

- вздутия рулонного кровельного ковра, трещины в ковре, его расслоение;
- мокрые бурые пятна в зонах сопряжения потолка верхнего этажа и внутренних поверхностей стен;
- ледяные наросты на полу верхнего этажа;
- повышение температуры в помещениях верхнего этажа.

9.3.2.4 Детальные обследования и лабораторные испытания по определению состояния тепло-, паро- и гидроизоляции, а также других характеристик ограждающих конструкций следует проводить один раз в шесть лет или немедленно после появления признаков увлажнения или разрушения теплоизоляции.

9.3.3 Химическая агрессия

9.3.3.1 При обследовании следует проверять уклоны полов в местах деформационных швов. Направление уклонов должно быть от деформационного шва.

В случае аварийных нарушений технологических процессов должны проводиться дополнительные осмотры независимо от плановых сроков.

9.3.3.2 При обследовании железобетонных конструкций необходимо выявлять следы коррозионных повреждений конструкций и закладных деталей, наличие, характер и размеры трещин в конструкциях.

9.3.3.3 При наличии дефектов в железобетонных конструкциях, вызванных коррозией арматуры, и если установлено, что проведение предыдущих ремонтов не приостановило процесс развития коррозии арматуры и бетона и состояние конструкции ухудшается, необходимо провести детальное обследование конструкций.

9.3.3.4 При обследовании каменных и армокаменных стен следует иметь в виду, что наиболее часто дефекты и повреждения наружных стен возникают из-за воздействия агрессивных газов, пыли и других агентов при наличии повышенной влажности (более 70 %).

9.3.4 Вибрационные воздействия

Характерными дефектами строительных конструкций от вибрационных воздействий являются:

– для металлических конструкций – появление усталостных трещин в сварных швах, местах резкого изменения сечений элементов; ослабление болтовых и заклепочных соединений; ослабление креплений конструкций на опорах и их смещение; деформация полок и стенок элементов металлоконструкций;

– для бетонных и железобетонных конструкций – образование перекрещивающихся трещин; отслаивание защитного слоя; снижение прочности и нарушение сцепления арматуры с бетоном; нарушение заделки и выдергивание анкерных болтов или раскалывание бетона на примыкающих к ним участках; появление усталостных трещин в сварных соединениях закладных и соединительных изделий; разрушение бетона и раствора в замоноличенных стыках; нарушение креплений и повреждение опорных частей;

– для каменных и армокаменных конструкций – образование перекрещивающихся трещин в стенах и перегородках и отклонение их от вертикали; расслоение кладки и выпадение отдельных камней; нарушение креплений к элементам каркаса с образованием контурных трещин и перемещением отдельных участков стен; нарушение креплений обрамлений проемов (коробок) к стенам.

При обследовании зданий, подвергающихся вибрационным воздействиям, следует выявлять признаки развития неравномерных осадок фундаментов.

9.3.5 Просадочные грунты

9.3.5.1 При обследовании подполий, подвалов, прямков и цокольной части зданий, построенных на просадочных грунтах, *проверяют и (или) устанавливают* следующие дефекты строительных конструкций:

– увлажнение стен и перекрытий, образование на их поверхностях мокрых пятен, плесени или высолов; выпадение конденсата на поверхностях трубопроводов и оборудования;

– отслаивание штукатурки или защитного слоя бетона железобетонных элементов стен и перекрытий;

– несовпадение разводов труб водоводов с водоотводящими бетонными лотками в полу;

– трещины в полах, лотках, каналах, водоприемниках и т. д., включая места их примыканий к другим конструкциям;

– щели между стеной водоприемного колодца и трубой канализации;

– трещины в стенах, особенно в уровне примыкания отмостки, фундаментах, свайных ростверках и перекрытиях;

– расслаивание стен, выпадение отдельных камней, кусков бетона и т. п.;

– отсутствие или недостаточная величина зазора между верхом водонесущих труб и верхним краем отверстия в стене;

– разрушение швов между панелями стен и плитами перекрытий;

- повреждение заполнений оконных и дверных проемов;
- повреждение гидроизоляции стен;
- деформации стен, фундаментов, свайных ростверков, перекрытий, заполнений проемов;
- неплотности в местах сопряжений конструкций.

Если меры по проветриванию помещений подвалов и искусственной сушке не устраняют избыточной влажности материалов стен или покрытий, следует произвести вскрытие и проверку состояния гидроизоляции.

9.3.5.2 При обследовании строительных конструкций необходимо проводить осмотр зон крепления тормозных и подкрановых балок к колоннам, узлов крепления вертикальных связей к колоннам и колонн к подколонникам; подкрановых и тормозных балок; крановых рельсов (с выявлением их положения относительно оси подкрановых балок); креплений крановых рельсов к балкам (с выявлением недостающих или ослабленных болтов и элементов креплений).

9.3.5.3 При обследовании строительных конструкций *проверяют и (или) устанавливают* также дефекты, которые способствуют увлажнению грунтов основания:

- неровности полов, ямы в них, отсутствие необходимых уклонов или уклоны, выполненные в направлении, противоположном проектному;
- разрушение покрытия полов;
- повреждения в местах примыкания пола к стенам, колоннам, фундаментам машин и другому технологическому оборудованию, каналам, лоткам, приямкам и т. п., а также в сопряжениях полов разной конструкции;
- неисправности лотков, каналов, трапов, сточных труб и заполнений технологических проемов;
- неисправности перекрытий каналов.

9.3.5.4 При обследовании строительных конструкций *проверяют и (или) устанавливают* дефекты строительных конструкций, вызванные их перегрузкой, которая может явиться причиной деформаций грунтов основания:

- в несущих металлоконструкциях – деформации отдельных элементов, в том числе от потери устойчивости, или конструкции в целом; смещения от проектного положения отдельных элементов или конструкции в целом; трещины в металле, дефекты или разрушения стыковых соединений (сварных, заклепочных), смещения в узлах сопряженных конструкций, дефекты или разрушения узловых соединений (сварных, болтовых, заклепочных);

– в несущих железобетонных конструкциях – деформации отдельных элементов или конструкции в целом, отклонения от проектного положения по горизонтали или вертикали, трещины, смещения или деформации в узлах сопряжений конструкций или их элементов. При этом *необходимо учитывать, что:*

- прогиб элемента, вызванный перегрузкой, сопровождается раскрытием трещин на внешней стороне кривой прогиба;

- вертикальные трещины на гранях колонн при отсутствии коррозии арматуры могут появиться в результате перегрузки колонны;
- наклонные трещины на опираниях участков изгибаемых конструкций (балок, прогонов, продольных ребер плит, опорных узлов ферм) раскрытием более допустимых пределов для соответствующей категории трещиностойкости, а при отсутствии ограничений по трещиностойкости – обычно более 0,5 мм, свидетельствуют, как правило, о перегрузке конструкции;
- вертикальные трещины в пролетных участках изгибаемых, в том числе преднапряженных конструкций, раскрытием более допустимых пределов для соответствующей категории трещиностойкости, а при отсутствии ограничений по трещиностойкости – обычно более 0,3–0,5 мм, могут служить признаком перегрузки конструкции;
- наличие на опирании участка напряженно-армированной несущей конструкции наклонной трещины, пересекающей зону расположения продольной напряженной рабочей арматуры и выходящей на нижнюю грань края опоры, свидетельствует о потере анкеровки преднапряженной арматуры;
- наличие у торца конструкции горизонтальных трещин вдоль преднапряженной арматуры, иногда со скалываниями лещадок по бокам, может свидетельствовать о нарушении анкеровки и проскальзывании арматуры на торцах;
- продольные некоррозионные и неусадочные трещины в сжатых зонах изгибаемых элементов (верхней полке балки, верхнем поясе фермы), особенно в сочетании с лещадками и отколами бетона, могут служить признаком перегрузки сжатой зоны бетона;
- раскрытие трещин в изгибаемых конструкциях до 0,5–1,0 мм может свидетельствовать о наличии пластических деформаций вследствие перегрузки, а раскрытие трещин до величин, измеряемых несколькими миллиметрами, является признаком предаварийного состояния;
- в армокаменных и каменных конструкциях – деформации (искривления, выпучивания и т. д.) конструкции в целом или ее отдельных частей, смещение от проектного положения конструкции или ее частей по горизонтали или вертикали; трещины, выколы в местах опирания на кладку несущих конструкций или на других перегруженных участках (простенках);
- отсутствие соосности рельса и подкрановой балки;
- неисправность подкранового пути (наличие недопустимого сужения или расширения колеи, перекосов или дефектов профиля);
- повреждения участков опирания (или заделки) на наружные или внутренние стены ферм, балок и прогонов, неисправности стыков или сопряжений;
- в стенах с применением металла – повреждения соединений листов или их креплений к каркасу панели либо к несущим конструкциям при перекосе или других деформациях каркаса;

– разрушение одежды полов на участках складирования продукции.

9.3.5.5 При обследовании необходимо контролировать состояние элементов, обеспечивающих работу здания по предусмотренной проектной документацией конструктивной схеме (жесткой, податливой или комбинированной), а также устройств и приспособлений для выравнивания строительных конструкций: швов между отсеками здания, поэтажных железобетонных или армокаменных поясов в стенах, связей-распорок между фундаментами, вертикальных дисков жесткости и распорных поясов из стеновых панелей, горизонтальных дисков жесткости из железобетонных элементов перекрытий и покрытия здания, мест анкеровки и замоноличивания сборных и сборно-монолитных элементов, шарнирных и податливых связей между элементами несущих и ограждающих конструкций, компенсационных устройств, уширенных опор плит перекрытий и других элементов (плит покрытий, балок и т. п.), средств защиты стыков взаимоперемещающихся элементов от увлажнения, домкратов и ниш под них и т. д.

10 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Оценка технического состояния элементов и конструкций зданий и сооружений выполняется в соответствии с ТНПА и может изменяться в процессе их совершенствования.

10.1 Оценка степеней значимости и распространения дефектов и повреждений

10.1.1 Оценку технического состояния строительных конструкций производят по отдельным группам показателей эксплуатационных качеств.

При оценке показателей несущей способности конструкций дефекты, для отнесения их к *критическим* (1-й класс), *значительным* (2-й класс) или *малозначительным* (3-й класс), подразделяют на две группы:

а) дефекты, которые характеризуются показателями эксплуатационных качеств, имеющие нормируемые числовые значения;

б) дефекты, связанные с нарушением технологии производства работ или повреждения, не имеющие нормируемых числовых значений.

Для дефектов перечисления а) класс дефекта определяют по значению превышения или занижения (в худшую сторону) фактического значения контролируемого параметра X_i по сравнению с его предельным (максимальным или минимальным) значением по следующей формуле:

$$\Delta = \frac{X_i - X_{\min(\max)}}{X_{\min(\max)}}, \quad (10.1)$$

где X_i – фактическое значение контролируемого параметра;

$X_{\min(\max)}$ – предельные значения контролируемого параметра.

Предельные значения $X_{\min(\max)}$ определяют в соответствии с проектной документацией и ТНПА. При этом:

- критическому дефекту соответствует $\Delta > 40 \%$;
- значительному дефекту соответствует $10 < \Delta \leq 40 \%$;
- малозначительному дефекту соответствует $\Delta \leq 10 \%$.

Для дефектов группы «б» отнесение дефекта к определенному классу производит аттестованный специалист по обследованию зданий на осно-

ве анализа последствий дефекта, степени его влияния на основные показатели эксплуатационных качеств рассматриваемого элемента здания.

10.1.2 Различают *две степени ответственности* элемента или его участка, в котором обнаружен дефект. К степени ответственности 1 относятся элементы или их составные части (для сложных элементов), локальный отказ которых может привести к полному или ограниченному отказу системы элементов, значительному снижению показателей эксплуатационных качеств конструкций или помещений, существенному ухудшению основных технико-экономических показателей.

К степени ответственности 2 относятся элементы или их составные части, не относящиеся к степени ответственности 1.

10.1.3 По количеству (степени распространения) дефектов в элементе или на рассматриваемом участке элемента *различают*:

а) единичные дефекты, занимающие до 10 % включительно площади, линейного размера или количества;

б) многочисленные дефекты, занимающие св. 10 до 40 % включительно площади, линейного размера или количества;

в) массовые дефекты, занимающие св. 40 % площади, линейного размера или количества.

10.1.4 Классификацию дефектов по группам показателей, не связанных непосредственно с несущей способностью конструкций (трещиностойкость, деформативность, тепловая защита, звукоизоляция, антикоррозионная защита, состояние воздушной среды и т. д.), или для ненесущих элементов зданий (полы, отделка, инженерные системы и т. д.), следует производить согласно п. 10.1, требованиям ТНПА на конкретные элементы зданий или с учетом рекомендаций производителей.

10.2 Категории технического состояния конструкций

10.2.1 Техническое состояние конструкций характеризуется *следующими категориями*:

I – исправное (хорошее) состояние – малозначительные дефекты устраняют в процессе установленного регламента технического обслуживания. При фактических нагрузках и воздействиях эксплуатация в соответствии с назначением допускается без ограничений до следующего очередного обследования в установленные сроки;

II – работоспособное (удовлетворительное) состояние – имеющиеся дефекты не приводят к нарушению работоспособности конструкции в данных конкретных условиях эксплуатации, но в перспективе могут снизить ее долговечность. Дефекты устраняют в процессе технического обслуживания и текущего ремонта, уточненные сроки которого могут быть назначены аттестованным специалистом по обследованию зданий. При фактических нагрузках и воздействиях эксплуатация конструкции допус-

кается без ограничений до очередного обследования в установленные сроки;

III – ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) состояние – имеющиеся дефекты оказывают некоторое влияние на несущую способность конструкции, но опасность внезапного разрушения отсутствует. Эксплуатация конструкции при фактических нагрузках допускается при периодическом контроле ее состояния, строгом соблюдении всех эксплуатационных требований, при возможных ограничениях на некоторые параметры эксплуатации. Требуется детальное обследование и расчет конструкции по 10.1 с оценкой степени ее нагруженности ($CH < 0,95$), а также разработка мероприятий по ремонту и, при необходимости, усилению конструкции. Неусиленные конструкции требуют повторного обследования в сроки, установленные аттестованным специалистом по обследованию зданий;

IV – неработоспособное (неудовлетворительное) состояние, свидетельствующее о значительной степени поврежденности конструкции или ее перегрузке ($CH > 1$), высокой степени риска для людей и материальных ценностей в зоне расположения данной конструкции. Необходимо незамедлительное ограничение нагрузок, срочное усиление или замена конструкции (уточняется расчетом). Замена конструкции выполняется при значительной сложности или экономической нецелесообразности усиления. В исключительных случаях до выполнения восстановительных работ допускается временная эксплуатация данного участка или здания в целом на срок, установленный аттестованным специалистом по обследованию зданий, при непрерывном осуществлении мониторинга за состоянием конструкции, с неукоснительным выполнением конкретных страховочных мероприятий (ограждение опасных зон, ограничение нагрузок, скорости и путей передвижения транспорта и т. п.);

V – предельное (предаварийное) состояние, характеризующееся признаками утраты несущей способности конструкции и возможностью ее обрушения в ближайшее время. Эксплуатация опасной зоны или здания в целом запрещена. Требуется срочный вывод людей, разгрузка и (или) устройство временных креплений конструкции с последующей ее разборкой и заменой с обеспечением безопасных условий ведения демонтажных работ.

При принятии решения о необходимости усиления несущей конструкции учитывают только дефекты, непосредственно влияющие на ее несущую способность. В случае нарушения требований эксплуатационной пригодности предусматривается выполнение только необходимых ремонтно-восстановительных мероприятий (ремонт трещин и повреждений, восстановление защитного слоя бетона, восстановление защитного покрытия элементов и т. д.).

10.3 Оценка технического состояния конструкций

10.3.1 Категорию технического состояния конструкции здания (ее отдельного участка) в зависимости от класса дефектов, степени их распространения, а также от назначенной аттестованным специалистом по обследованию зданий степени ответственности участка, или элемента конструкции, или системы, где обнаружены данные дефекты, определяют по таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Определение КТС конструкции

Степень распространения дефектов	КТС для классов дефектов		
	критические	значительные	малозначительные
Массовые	$\frac{V}{IV, V}$	$\frac{IV, V}{III}$	$\frac{III}{II, III}$
Многочисленные	$\frac{V}{IV}$	$\frac{IV}{II, III}$	$\frac{II, III}{II}$
Единичные	$\frac{IV, V}{III, IV}$	$\frac{III}{II}$	$\frac{II}{I}$
<i>Примечания</i> 1 Римскими цифрами обозначены КТС конструкций. 2 В числителе приведены категории для элементов степени ответственности 1, в знаменателе – степени ответственности 2. 3 При оценке степени распространения дефектов в соответствии с п.10.1 определение доли дефектов различного вида в общем объеме элемента (участка элемента) производят суммированием площади (линейного размера, количества и т. д.) дефектов двух максимальных классов, выявленных обследованием в данном элементе (участке). 4 Класс дефектов принимают по максимальному классу всех обнаруженных видов дефектов в данном элементе (участке).			

Для отнесения конструкции к конкретной КТС достаточно наличия указанного в таблице 10.1 сочетания параметров дефектов в любом из элементов (участков) конструкции определенной степени ответственности.

10.3.2 В соответствии с ГОСТ ISO 15686-7 на КТС конструкций влияют факторы, определяющие уровень их дефектности (степень поврежденности) и подлежащие анализу, которые в зависимости от условий эксплуатации подразделяются на *следующие классы*:

- А – начальное качество элемента;
- В – качество проектирования;
- С – качество выполнения работ при возведении конструкций;
- Д – параметры внутренней окружающей среды;
- Е – параметры наружной окружающей среды;
- Ф – условия использования;
- Г – уровень технического обслуживания.

Каждый из перечисленных факторов (классов условий эксплуатации) характеризуется перечнем контролируемых параметров (ПЭК), устанавливаемых соответствующими ТНПА на материалы, конструкции, виды работ, классы воздействий и т. д.

Анализ влияния параметров вышеперечисленных факторов на срок службы конструктивных элементов приведен в СТБ 2468, ГОСТ 33199.1. Классы факторов D и E следует по возможности дифференцировать с учетом стандартизированных классов воздействий факторов по ГОСТ ISO 15686-7 или по другим ТНПА. Другие классы факторов при определении срока службы элемента следует оценивать рейтингами условий эксплуатации по ГОСТ ISO 15686-7.

10.3.3 При общей оценке КТС каждый параметр следует рассматривать вместе с контрольным (допустимым) значением параметра, который используется для оценки уровня дефектности (класса дефекта) с учетом вышеуказанных факторов, которые могли явиться причиной дефекта согласно 10.1. Кроме регистрации видимых дефектов следует оценивать возможность (и опасность) скрытых дефектов и целесообразность дополнительных затрат по их выявлению.

При определении перечня контролируемых при обследовании параметров конструкций и их дефектов следует учитывать, что некоторые из них практически не меняются в течение времени (например, глубина площадки опирания ригеля на стену), а некоторые могут существенно изменяться (например, степень коррозии арматуры), что влияет на прогнозируемые основные характеристики конструкций (несущую способность, деформативность и т. д.). Данные параметры необходимо контролировать при последующих общих или детальных обследованиях для анализа динамики измерения КТС.

10.3.4 Для оценки КТС отдельной конструкции допускается использовать специальные классификаторы КТС, разработанные для отдельных видов конструкций, материалов и т. д. КТС определяют на основании индивидуальных оценок для каждой конструкции по результатам обследования. Индивидуальные КТС в сложных или нетиповых ситуациях назначают аттестованные специалисты по обследованию зданий методом экспертной оценки.

10.3.5 Долю конструкций (их участков) с конкретным показателем КТС (Π) в общем объеме конструкций данного вида определяют по формуле

$$D_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{V_o}, \quad (10.2)$$

где V_{Π} – объем (количество, площадь, длина и т. д.) конструкций (их участков), имеющих данный показатель КТС ($\Pi = 1 \dots 5$);

V_o – общий объем (количество, площадь, длина и т. д.) оцененных конструкций данного вида.

Усредненный показатель КТС для группы конструкций одного вида вычисляют по формуле

$$\text{УП} = \sum_{i=1}^5 \Pi D_{\Pi}, \quad (10.3)$$

где P – показатель КТС.

Усредненный показатель КТС для всех групп конструкций данного вида (для всех этажей, фасадов и т. д.) ориентировочно определяют как среднее арифметическое по усредненному показателю каждой группы.

10.3.6 По наиболее поврежденным несущим конструкциям оценивают КТС отдельного участка здания и риск локального или прогрессирующего обрушения и принимают решение о дальнейших действиях. При этом КТС для участка здания при оценке его безопасности принимают равным значению КТС наиболее поврежденной несущей конструкции на данном участке.

10.3.7 При общей оценке КТС каждый параметр следует рассматривать вместе с контрольным (допустимым) значением параметра, который используется для оценки уровня дефектности (класса дефекта) с учетом вышеуказанных факторов, которые могли явиться причиной дефекта.

10.3.8 Оценка КТС, в зависимости от задач обследования, может быть выполнена как для отдельного участка здания, так и для всего здания.

10.3.9 Сравнивая полученные индивидуальные значения КТС на схеме расположения элементов, а также значения D_n и U_{Ps} данными предыдущего обследования, оценивают динамику и характер изменения индивидуальных показателей технического состояния отдельных конструкций на различных участках здания, а также изменение усредненных показателей КТС для групп (видов) конструкций.

Оценив динамику ухудшения технического состояния, назначают сроки, вид и объем следующего его обследования (общее, детальное, выборочное, комплексное) с учетом рекомендуемой периодичности.

10.3.10 По показателям КТС для индивидуальных конструкций каждого вида, их групп ориентировочно определяют виды и объемы необходимых ремонтных работ для восстановления эксплуатационной пригодности конкретных конструкций и здания в целом, принимают решение о корректировке правил технической эксплуатации, режимов осмотров.

Перечень соответствующих мероприятий по восстановлению эксплуатационных качеств несущих конструкций при необходимости уточняют детальным обследованием конструкций и расчетами на действующие или предполагаемые нагрузки. Особенности определения расчетных характеристик материалов и нагрузок при обследовании конструкций с учетом их фактической изменчивости приведены в СТБ ISO 13822, СТБ ISO 2394.

10.3.11 Оценка технического состояния конструкций является важным, но иногда недостаточным основанием для принятия управленческих решений по результатам некоторых видов обследования, перечисленных в разд. 9 при решении отдельных задач. Так, кроме вопросов безопасности часто требуется учитывать результаты экономических,

экологических, социальных и других последствий отказов и планируемых восстановительных мер. На здания и сооружения, являющиеся сложными техническими системами, в целом распространяются требования общетехнических стандартов, в соответствии с которыми необходимо выполнять анализ видов, последствий и критичности отказов, связанных с безопасностью (АВПКО). Детализированный количественный анализ частот отказов конструкций и их последствий требует компьютерного моделирования сценариев отказов на основе моделей типа «дерево событий» и во многих случаях на практике затруднен из-за недостатка исходных данных. В таких ситуациях допустимо использовать качественное ранжирование частот и последствий отказа с составлением матриц риска на основе балльных оценок вероятности отказов и тяжести их последствий. Для зданий массового строительства II–IV класса сложности приближенную качественную оценку степени риска допускается выполнять с использованием рейтингового подхода согласно 10.3.12–10.3.18.

10.3.12 При приближенной качественной оценке уровня опасности (неприемлемости) выявленных дефектов следует учитывать, что чем выше степень поврежденности (СП) и степень нагруженности (СН) конструкции, тем больше вероятность неприемлемой ситуации (например, аварии), которая имеет неизбежные негативные последствия (ущерб). Степень риска характеризует вероятность появления значительного ущерба и зависит от размеров ущерба и вероятности появления неприемлемой ситуации.

Согласно СТБ ISO 15686-7 рассматриваются *пять уровней (рейтингов)* негативных последствий (НП) и соответствующих уровней ущерба:

- 1-й уровень последствий – ущерб отсутствует;
- 2-й уровень последствий – незначительный ущерб;
- 3-й уровень последствий – умеренный;
- 4-й уровень последствий – высокий;
- 5-й уровень последствий – очень высокий.

10.3.13 В СТБ ISO 2394, СТБ ISO 13822 учитываются риски, связанные только с безопасностью по результатам выполнения вероятностных или полув вероятностных прочностных расчетов с нормированием индекса надежности. В СТБ ISO 15686-7 предлагается на стадии эксплуатации рассматривать более широкую номенклатуру рисков. В такой постановке уровень негативных последствий (НП) устанавливается для одного или нескольких отдельных видов последствий или в совокупности для группы последствий.

Ниже перечислены некоторые виды последствий, *которые могут быть использованы как основание* при оценке их уровня по согласованию с собственником:

а) нарушение требований безопасности (например, недостаточная несущая способность, плохое закрепление ненесущих элементов или оборудования с возможностью их падения, нарушение требований пожарной безопасности);

б) нарушение требований охраны здоровья (например, травматизм при ходьбе по дефектному полу, низкое качество воздуха, неудовлетворительные параметры микроклимата, недопустимый уровень шума);

в) ухудшение эстетических характеристик (например, низкое качество поверхности);

г) увеличение эксплуатационных затрат (например, сложное техническое обслуживание, необходимость частого ремонта).

В отдельных случаях для собственника может оказаться важным минимизировать и другие виды рисков, которые для него могут быть неприемлемы, например, снижение дохода владельца магазина при временном прекращении его функционирования на период ремонта. Определение конкретного перечня видов последствий и их приоритетности для конкретного объекта должно осуществляться совместно с собственником. При определении уровня негативных последствий отказов следует учитывать только те элементы и их дефекты, которые могут повлиять на величину ущерба (для данного вида последствий).

10.3.14 Вероятность появления неприемлемой ситуации (ВН) в рамках рейтинговой оценки можно также оценить *на пяти уровнях*:

1-й уровень – очень низкая вероятность неприемлемой ситуации;

2-й уровень – низкая;

3-й уровень – умеренная;

4-й уровень – высокая;

5-й уровень – очень высокая.

При оценки ВН на практике следует принимать (где это возможно) численное значение уровня вероятности неприемлемой ситуации равным показателю категории технического состояния (КТС) элементов (их участков), вовлеченных в оценку степени риска для данного вида последствий.

10.3.15 Степень риска (СР) устанавливается как очень низкая (1), низкая (2), средняя (3), высокая (4) и чрезвычайно высокая (5), с идентификацией видов и уровней последствий, которые использовались как основание для оценки риска. Также следует учитывать, что уровень качества диагностики объектов в конкретной ситуации может существенно различаться по объективным и субъективным причинам (выполнение обследования без остановки производства, недоступность отдельных конструкций, вероятность наличия скрытых дефектов, выборочный характер обследования и т. д.). Данный фактор в рамках рейтинговых оценок учитывают на пяти уровнях (УД):

1-й уровень – очень низкая вероятность наличия не выявленных дефектов;

2-й уровень – низкая;

3-й уровень – умеренная;

4-й уровень – высокая;

5-й уровень – очень высокая.

10.4 Аварийно-опасное состояние

Здания, сооружения, их отдельные участки или прилегающая территория могут быть в установленном порядке признаны аварийно-опасными, если по результатам обследования несущих конструкций или других элементов (разрушение или обрушение которых может быть опасным для здоровья и жизни людей, сохранности материальных ценностей) выявлено *следующее*:

1) не менее 20 % конструкций, расположенных в рассматриваемой зоне, относятся к IV или V категории технического состояния и в данной зоне высок риск возникновения аварийной ситуации и прогрессирующего обрушения. В этом случае запрещается эксплуатация всего здания;

2) имеются отдельные конструкции, относящиеся к V категории технического состояния. В этом случае должна быть запрещена эксплуатация отдельного обособленного участка в зоне расположения аварийно-опасной конструкции, в пределах которого может произойти локальное обрушение, не приводящее к последующему прогрессирующему обрушению всего здания.

К аварийно-опасным также относят здания, в которых органами государственного пожарного надзора выявлены нарушения противопожарных требований капитального характера, а также в которых имеется неисправное оборудование, представляющее опасность для здоровья или жизни людей, сохранности их имущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Абрашитов, В. С.** Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций : учеб. пособие / В. С. Абрашитов. – М. : ИАСВ, 2002. – 96 с.
- 2 **Алексеев, С. Н.** Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1976. – 205 с.
- 3 **Альбрехт, Р.** Дефекты и повреждения строительных конструкций / Р. Альбрехт ; пер. с нем. Е. Ш. Фельдмана. – М. : Стройиздат, 1979. – 208 с.
- 4 Альбом пороков древесины / А. Т. Вакин [и др.] ; под ред. С. Н. Горошина. – М. : Лесная промышленность, 1969. – 164 с.
- 5 **Андреюк, Е. И.** Литотрофные бактерии и микробиологическая коррозия / Е. И. Андреюк, И. А. Козлова. – Киев : Наукова думка, 1977. – 164 с.
- 6 **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.
- 7 **Армановский, Л. И.** Архитектурные конструкции гражданских зданий / Л. И. Армановский, В. С. Волга. – Киев : Будівельник, 1988. – 240 с.
- 8 **Бабко, А. К.** Количественный анализ / А. К. Бабко, И. В. Пятницкий. – М. : Высш. шк., 1968. – С. 437–438.
- 9 **Бабушкин, В. И.** Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мchedлов-Петросян ; под ред. О. П. Мchedлова-Петросяна. – 4-е изд. – М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.
- 10 **Бадьин, Г. М.** Справочник строителя-ремонтника / Г. М. Бадьин, В. А. За-renков, В. К. Иноземцев. – М. : АСВ, 2002. – 496 с.
- 11 **Бартелеми, Б.** Огнестойкость строительных конструкций / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа ; пер. с франц. М. В. Предтеченского ; под ред. В. В. Жукова. – М. : Стройиздат, 1985. – 216 с.
- 12 **Бедов, А. И.** Обследование и реконструкция железобетонных и каменных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений : учеб. пособие / А. И. Бедов, В. Ф. Сапрыкин. – М. : АСВ, 1995. – 192 с.
- 13 **Бедов, А. И.** Оценка технического состояния, восстановление и усиления оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений. В 2 ч. Ч. 1. Оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений : учеб. пособие / А. И. Бедов, В. В. Знаменский, А. И. Габитов. – М. : АСВ, 2014. – 704 с.
- 14 Биоповреждения : учеб. для высш. шк. / под ред. В. Д. Ильичева. – М. : Высш. шк., 1987. – 352 с.
- 15 Биоповреждения в строительстве / Ф. М. Иванов [и др.] ; под ред. Ф. М. Иванова, С. Н. Горошина. – М. : Стройиздат, 1984. – 320 с.

- 16 **Бойко, М.Д.** Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений. – Л. : Стройиздат, 1986. – 256 с.
- 17 **Богомолов, Б. Д.** Химия древесины / Б. Д. Богомолов. – М. : Экология, 1973. – 224 с.
- 18 **Бойко, М. Д.** Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / М. Д. Бойко. – Л. : Стройиздат, 1975. – 336 с.
- 19 **Бондаренко, В. М.** Износ, повреждения и безопасность железобетонных сооружений / В. М. Бондаренко, А. В. Боровских. – М. : ИД Русанова, 2000. – 144 с.
- 20 **Буга, П. Г.** Гражданские, промышленные и сельскохозяйственные здания / П. Г. Буга. – М. : Высш. шк., 1987. – 351 с.
- 21 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 22 **Васильев, А. А.** Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 23 **Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.
- 24 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 25 **Васильев А. А.** Дефекты и повреждения строительных конструкций: с прилож. на опт. диске : учеб. пособие. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 361 с.
- 26 **Вейц, Р. И.** Производственные дефекты в жилищном строительстве и меры их предупреждения / Р. И. Вейц. – М. : Стройиздат, 1976. – 168 с.
- 27 **Гринберг, В. Е.,** Контроль и оценка состояния несущих конструкций зданий и сооружений в эксплуатационный период / В. Е. Гринберг, В. Г. Семетов, Г. Б. Шойхет. – Л.: Стройиздат, 1982. – 19 с.
- 28 **Гроздов, В. Т.** Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений / В. Т. Гроздов. – СПб. : Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства», 2001. – 141 с.
- 29 **Гроздов, В. Т.** Дефекты строительных конструкций и их последствия. – СПб. : Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства», 2001. – 148 с.
- 30 **Гроздов, В. Т.** Дефекты основных несущих железобетонных конструкций каркасных многоэтажных промышленных и общественных зданий и методы их устранения / В. Т. Гроздов. – СПб. : ВВВСУ, 1993. – 192 с.
- 31 **Гроздов, В. Т.** Дефекты сборных железобетонных несущих конструкций одноэтажных каркасных промышленных зданий и методы их устранения / В. Т. Гроздов. – СПб. : ВВВСУ, 1993. – 168 с.
- 32 **Гроздов, В. Т.** Дефекты конструкций крупнопанельных зданий, снижающие несущую способность зданий, и их устранение / В. Т. Гроздов. – СПб., 1993. – 96 с.
- 33 **Грунау, Э.** Предупреждение дефектов в строительных конструкциях : пер. с нем. / Э. Грунау. – М. : Стройиздат, 1980. – 215 с.
- 34 **Гуськов, И. М.** Эксплуатация деревянных конструкций и методы устранения их дефектов : учеб. пособие / И. М. Гуськов. – М. : МИСИ, 1982. – 106 с.
- 35 **Гучкин, И. С.** Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций / И. С. Гучкин. – М. : АСВ, 2001. – 176 с.

- 36 **Далматов, Б. И.** Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – Л. : Стройиздат, 1988. – 213 с.
- 37 Деревянные конструкции и детали. Справочник строителя / В. М. Хрулев [и др.] ; под ред. В. М. Хрулева. – М. : Стройиздат, 1983. – 220 с.
- 38 Дефекты и повреждения строительных конструкций / Р. Альбрехт. – М. : Стройиздат, 1979. – 139 с.
- 39 **Добромыслов, А. Н.** Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений : справ. пособие / А. Н. Добромыслов. – М. : АСВ, 2006. – 256 с.
- 40 Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.
- 41 Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М. : Готика, 2001. – 684 с.
- 42 Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования : учеб. пособие для студентов строительных специальностей / под ред. проф. Т. М. Пецольда и проф. В. В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003. – 380 с., с ил.
- 43 **Землянский, А. А.** Обследование и испытание зданий и сооружений / А. А. Землянский. – М. : АСВ, 2001. – 240 с.
- 44 **Ильин, И. А.** Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции / И. А. Ильин. – М. : 1979. – 168 с.
- 45 **Калакот, Р.** Диагностика повреждений / Р. Калакот. – М. : Мир, 1989. – 515 с.
- 46 **Калинин, А. А.** Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений / А. А. Калинин. – М. : АСВ, 2002. – 160 с.
- 47 **Калинин, В. М.** Оценка технического состояния зданий / В. М. Калинин, С. Д. Сокова. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 268 с.
- 48 **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.
- 49 **Каневская, И. Г.** Биологическое повреждение промышленных материалов / И. Г. Каневская. – Л. : Наука, Ленингр. отд., 1984. – 230 с.
- 50 Комплексная оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций : практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 31 с.
- 51 **Корецкая, Л. С.** Атмосферостойкость полимерных материалов / Л. С. Корецкая. – Минск, : 1993. – 135 с.
- 52 Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 533 с.
- 53 Коррозия конструкционных материалов : в 2 кн. / В. В. Батраков [и др.]. – М., 1990. – 320 с.
- 54 Конструкции из дерева и пластмасс. Примеры расчета и конструирования. – Киев : Будівельник, 1970. – 236 с.
- 55 **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. – Гомель : БелГУТ, 2003. – Ч. I. – 265 с.; Ч. II. – 228 с.
- 56 **Курбатова, И. И.** Современные методы химического анализа строительных материалов / И. И. Курбатова. – М. : Стройиздат, 1972. – 189 с.
- 57 **Леденев, В. В.** Предупреждение аварий : учеб. пособие / В. В. Леденев, В. И. Скрылев. – М. : АСВ, 2002. – 240 с.

58 **Леденев, В. И.** Физико-технические основы эксплуатации кирпичных стен : учеб. пособие / В. И. Леденев, И. В. Матвеева, П. В. Монастырев. – М. : АСВ, 2008. – 160 с.

59 Микробная коррозия и ее возбудители / Е. И. Андреюк [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1980. – 288 с.

60 **Мозгалеvский, А. В.** Техническая диагностика / А. В. Мозгалеvский, Д. В. Гаскаров. – М. : Высш. шк., 1975. – 205 с.

61 **Неверов, А. С.** Коррозия и защита материалов : учеб. пособие / А. С. Неверов, Д. А. Родченко, М. И. Цырлин. – Минск. : Выш. шк., 2007. – 222 с.

62 Неразрушающие методы оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах / Т. М. Пецольд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 146 с.

63 Обследование и испытание зданий и сооружений : учеб. пособие / В. Г. Казачек [и др.] ; под ред. В. И. Римшина. – М. : Высш. шк., 2004. – 448 с.

64 Обследование и испытание сооружений : учеб. для вузов / О. В. Лужин [и др.] ; под ред. О. В. Лужина. – М. : Стройиздат, 1987. – 263 с.

65 **Овчинников, И. Г.** Современные методы неразрушающего контроля инженерных сооружений : учеб. пособ. для вузов / И. Г. Овчинников, М. В. Федоров. – Саратов : Саратов. гос. техн. ун-т, 1999. – 120 с.

66 Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений : учеб. пособие / Г. П. Тонких [и др.]. – Томск : Печатная мануфактура, 2009. – 205 с.

67 **Панюков, Э. Ф.** Восстановление зданий и сооружений, поврежденных пожаром / Э. Ф. Панюков. – Киев : УПК ВО, 1989. – 123 с.

68 **Пархоменко П. П.** Основы технической диагностики / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян – М. : Энергия, 1981. – 320 с.

69 **Плевков, В. С.** Оценка технического состояния, восстановление и усиление строительных конструкций инженерных сооружений : учеб. пособие / В. С. Плевков, А. И. Мальганов, И. В. Балдин. – М. : АСВ, 2014, – 328 с.

70 **Покровская, Е. Н.** Биокоррозия, сохранение памятников истории и архитектуры / Е. Н. Покровская, Ю. Л. Ковальчук. – М. : НИУ МГСУ, 2013. 212 с.

71 **Порывай, Г. А.** Предупреждение преждевременного износа зданий / Г. А. Порывай. – М. : Стройиздат, 1979. – 284 с.

72 Повреждения зданий / сокр. пер. с англ. Г. А. Ивановой ; под ред. И. А. Петрова. – М. : Стройиздат, 1982. – 144 с.

73 Предотвращение повреждений в жилищном строительстве : в 2 т. / Е. Шильд [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 192 с.

74 Предупреждение деформаций и аварий зданий и сооружений / В. А. Лисенко [и др.] ; под ред. В. А. Лисенко. – Киев : Будівельник, 1984. – 120 с.

75 Проблемы сохранения жилой и производственной инфраструктуры городов от биоразрушения / В. А. Крыленков [и др.] // Инфстрой. – 2003. – № 5. – С. 3–13.

76 **Пухонто, Л. М.** Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) : [монография] / Л. М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.

77 Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. – М. : ЦНИИпромзданий, 1989. – 112 с.

78 Рекомендации по определению технического состояния ограждающих конструкций промышленных зданий. – М. : Стройиздат, 1988. – 153 с.

79 **Ремнев, В. В.** Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Ремнев, А. С. Морозов, Г. П. Тонких. – М. : Маршрут, 2005. – 196 с.

80 **Рибицки, Р.** Повреждения и дефекты строительных конструкций / Р. Рибицки. – М. : Стройиздат, 1982. – 432 с.

81 **Руфферт, Г.** Дефекты бетонных конструкций / пер. с нем. И. Г. Зеленцова ; под ред. Б. В. Семенова. – М. : Стройиздат, 1987. – 111 с.

82 **Ройтман, А. Г.** Деформации и повреждения зданий / А. Г. Ройтман. – М. : Стройиздат, 1987. – 160 с.

83 **Скороходов, В. Д.** Защита неметаллических строительных материалов от биокоррозии : учеб. пособие / В. Д. Скороходов, С. И. Шестакова. – М. : Высш. шк., 2004. – 204 с.

84 **Сморчков, А. А.** Обследование строительных конструкций зданий и сооружений : учеб. пособие / А. А. Сморчков. – Курск : Курск. гос. ун-т, 2003. – 87 с.

85 **Соломка, В. И.** Дефекты железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов и факторы, влияющие на их поведение / В. И. Соломка // Будівельні конструкції. Реконструкція будівель та споруд. Досвід та проблеми : зб. наук. праць. Вип. 54. – Київ : НДІБК, 2001. – С. 622–628.

86 **ТКП 45-1.04-305-2017 (33020)** Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования. – Введ. 2017-04-01. – Минск, 2017. – 107 с.

87 **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.

88 **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.

89 Техническое обследование и ремонт зданий и сооружений : справ. пособие / под ред. М. Д. Бойко. – М. : Стройиздат, 1993. – 208 с.

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

91 **Физдель, И. А.** Дефекты и методы их устранения в конструкциях и сооружениях / И. А. Физдель. – М. : Стройиздат, 1970. – 175 с.

92 **Физдель, И. А.** Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их устранения / И. А. Физдель. – М. : Стройиздат, 1978. – 161 с.

93 **Физдель, И. А.** Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их устранения / И. А. Физдель. – М. : Стройиздат, 1984. – 319 с.

94 Элементы зданий и сооружений : пособие по специальности «Технический надзор» / И. А. Кудрявцев [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 256 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	5
2 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ И ВОЗВЕДЕНИИ	8
2.1 Земляные работы	8
2.2 Фундаменты	9
2.3 Каменные работы.....	12
2.4 Железобетонные конструкции.....	17
2.4.1 Стеновые панели крупнопанельных зданий.....	22
2.4.2 Стыки и швы.....	26
2.4.3 Колонны.....	27
2.4.4 Балки (ригели).....	31
2.4.5 Фемы.....	35
2.4.6 Плиты перекрытий и покрытий.....	35
2.4.7 Монолитные железобетонные конструкции.....	37
2.4.8 Лестничные марши и площадки.....	39
2.5 Стальные конструкции.....	40
2.5.1 Изготовление конструкций	40
2.5.2 Монтаж конструкций	41
2.6 Деревянные конструкции.....	42
2.7 Полы.....	44
2.8 Перегородки.....	50
2.9 Кровли из рулонных материалов.....	50
2.10 Сварные конструкции.....	55
2.11 Соединения на болтах без контролируемого натяжения.....	56
2.12 Заклепочные соединения.....	57
2.13 Одноэтажные здания со стальным каркасом.....	58
2.13.1 Колонны	58
2.13.2 Стропильные фермы из парных уголков	59
2.13.3 Стальные разрезные сварные подкрановые балки двутавро- вого сечения пролетом 6 и 12 м с шарнирным опиранием на колонны через торцевые опорные ребра	60

2.13.4 Пути подвешенного транспорта	61
2.13.5 Покрытия на основе стального профнастила	62
2.13.6 Сборные железобетонные предварительно напряженные ребристые плиты 3×6 и 3×12 м (основные) и 1,5×6 и 1,5×12 м (доборные)	63
2.14 Многоэтажные здания со стальным каркасом.....	64
2.14.1 Монтаж конструкций	64
2.14.2 Устройство узлов и стыков	64
2.15 Одноэтажные здания с каркасом из железобетонных конструкций	66
2.15.1 Колонны	66
2.15.2 Конструкции покрытия	66
2.15.3 Подкрановые балки	67
2.16 Многоэтажные производственные здания с каркасом из сборных железобетонных конструкций по сериям 1.420-12, 1.420-6 и ИК-20/70	67
2.16.1 Конструкции каркаса	67
2.17 Многоэтажные здания межвидового применения с каркасом из сборных железобетонных конструкций по серии 1.020-1/83	69
2.17.1 Конструкции каркаса	69
2.18 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	72
2.19 Однослойные стеновые панели из ячеистых и легких бетонов по серии 1 030.1-1 толщиной от 200 до 350 мм	73
2.20 Стены из трехслойных панелей с обшивкой из металла с теплоизоляцией из пенополиуретана для одноэтажных промышленных зданий и сооружений по серии 1.432.2-24	74
3 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	76
3.1 Воздействие отрицательных температур на основания и конструкции зданий.....	76
3.2 Увлажнение конструкций.....	81
3.3 Воздействие грунтовой воды.....	88
3.4 Коррозия материалов конструкций.....	91
3.4.1 Каменные конструкции.....	95
3.4.2 Металлические конструкции.....	104
3.4.3 Железобетонные конструкции.....	136
3.4.4 Деревянные конструкции.....	163
3.4.5 Полимерные конструкции.....	166
3.5 Повреждения бетона при воздействии нефтепродуктов.....	176
3.6 Воздействие на конструкции повышенных температур и огня.....	178
3.7 Воздействие пожара на отдельные виды конструкций.....	182
3.7.1 Бетонные и железобетонные конструкции.....	182
3.7.2 Каменные и кирпичные конструкции.....	188

3.7.3 Стальные конструкции.....	190
3.7.4 Деревянные конструкции.....	191
4 ТРЕЩИНЫ В КОНСТРУКЦИЯХ.....	194
4.1 Трещины в железобетонных элементах.....	194
4.1.1 Механизмы разрушения структуры бетона.....	195
4.1.2 Основные причины появления трещин.....	196
4.1.3 Основные характерные трещины в железобетонных элементах.....	197
4.1.4 Трещины в балках с обычным армированием.....	199
4.1.5 Трещины в предварительно напряженных балках.....	200
4.1.6 Трещины в сжатых элементах.....	201
4.1.7 Трещины в стропильных фермах.....	203
4.1.8 Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий.....	205
4.1.9 Трещины в железобетонных элементах, вызванные огневым воздействием.....	208
4.2 Трещины в каменных (кирпичных) конструкциях.....	211
4.2.1 Основные причины появления трещин.....	211
4.2.2 Стадии трещинообразования каменных кладок при сжатии.....	211
4.2.3 Трещины в кирпичных внецентренно сжатых колоннах.....	212
4.2.4 Трещины в кирпичных стенах.....	213
5 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ	220
5.1 Металлы и металлоконструкции	229
5.1.1 Биокоррозия под действием бактерий	229
5.1.2 Биокоррозия под действием микроскопических грибов	231
5.2 Минеральные материалы	232
5.3 Природные каменные материалы	238
5.4 Полимерные материалы	240
5.5 Лакокрасочные материалы	241
5.6 Ковровые материалы	241
5.7 Древесина	242
5.7.1 Дереворазрушающие грибы	244
5.7.2 Дереворазрушающие насекомые	263
5.8 Биокоррозия и человек	271
5.8.1 Виды влияния биоповреждений зданий на человека	271
5.8.2 Микроскопические грибы – возбудители микозов и микогенной аллергии	273
5.8.3 Группы микотических болезней	277
5.8.4 Признаки влияния на человека биоповреждений зданий	279
6 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕТЫ КОНСТРУКЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ОТ СОВМЕ- СТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ	281
6.1 Фундаменты	281
6.2 Ограждающие конструкции и стены	282
6.3 Перегородки	287
6.4 Колонны	288

6.5 Перекрытия (покрытие)	289
6.6 Подкрановые конструкции	292
6.7 Стропильные конструкции покрытий	294
6.8 Лестницы	297
6.9 Окна, двери, ворота, фонари	298
6.10 Полы	300
6.11 Кровли	304
7 ДЕФЕКТЫ – ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ...	309
7.1 Обрушение плит покрытия формовочного цеха	309
7.2 Обрушение участка покрытия крытого рынка	313
7.3 Обрушение части здания гостиницы	319
7.4 Обрушение участка покрытия жилого дома	329
7.5 Обрушение балконной плиты	332
8 МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ	338
8.1 Неразрушающий контроль	338
8.1.1 Краткая характеристика основных методов неразрушающего контроля	339
8.2 Неразрушающий контроль в строительстве	346
8.2.1 Неразрушающий контроль прочности бетона на сжатие	347
8.3 Физико-химический анализ бетона	349
9 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	357
9.1 Общее обследование	359
9.1.1 Основные положения	359
9.1.2 Основания и фундаменты	362
9.1.3 Колонны и подкрановые конструкции	364
9.1.4 Стены и перегородки	365
9.1.5 Перекрытия и рабочие площадки	367
9.1.6 Крыши и покрытия зданий, подвесные потолки	369
9.1.7 Полы	371
9.1.8 Окна, фонари, двери, ворота	372
9.1.9 Лестницы	373
9.1.10 Балконы, карнизы, козырьки	374
9.1.11 Прилегающая к зданию территория	374
9.2 Детальное обследование	375
9.2.1 Общие положения	375
9.2.2 Основания и фундаменты	382
9.2.3 Стены	386
9.2.4 Перегородки	396
9.2.5 Колонны	397
9.2.6 Перекрытия	398
9.2.7 Балконы, карнизы, козырьки	400
9.2.8 Лестницы	401
9.2.9 Кровли, покрытия, стропильные конструкции	402
9.2.10 Окна и двери	404
9.3 Дополнительные положения по обследованию зданий и сооруже-	405

ний со специфическими эксплуатационными воздействиями производственного оборудования и при наличии особых геологических условий	
9.3.1 Высокие и повышенные температуры	405
9.3.2 Низкие температуры	405
9.3.3 Химическая агрессия	406
9.3.4 Вибрационные воздействия	406
9.3.5 Просадочные грунты	407
10 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА	411
10.1 Оценка степеней значимости и распространения дефектов и повреждений	411
10.2 Категории технического состояния конструкций	412
10.3 Оценка технического состояния конструкций	413
10.4 Аварийно-опасное состояние	419
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	420
ПРИЛОЖЕНИЯ (на оптическом диске)	
А Примеры характерных дефектов конструкций доэксплуатационного периода	12
Б Примеры характерных дефектов конструкций эксплуатационного периода	70
В Характерные примеры развития дефектов	160
Г Перечень характерных дефектов и повреждений строительных конструкций (ТКП 45-1.04-37-2008 (02250))	171
Д Приборы и оборудование для неразрушающего контроля различных параметров	180

Учебное издание

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**
(с электронным приложением)

Учебник

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Т. А. Пузач*
Компьютерный набор – *А. А. Васильев*
Верстка – *А. А. Васильев, А. В. Рычков*

Подписано в печать 21.07. 2020 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Arial. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 25,11. Уч.-изд. л. 27,21 + 14,62 (CD). Тираж 250 экз.
Зак. № 1797. Изд. № 22.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель