

Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта»

Кафедра «Архитектура и строительство»

Научно-исследовательская лаборатория
«Диагностика, испытание и исследование
строительных материалов и конструкций»
им. профессора И. А. Кудрявцева

А. А. ВАСИЛЬЕВ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования
по специальности магистратуры
«Строительство зданий и сооружений»*

Гомель 2023

УДК 624.01/04(075.8)
ББК 38.05
В19

Рецензенты: доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Белорусско-Российского университета, канд. техн. наук, доцент *Е. Е. Корбут*;
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 *А. П. Стрельченя*; доцент кафедры – канд. техн. наук, доцент *И. И. Неверович*)

Васильев, А. А.

В19 Современные методы технической оценки строительных конструкций : учеб. пособие / А. А. Васильев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 326 с.
ISBN 978-985-891-107-2

Рассмотрены характерные дефекты элементов и конструкций зданий и сооружений, а также причины их возникновения. Представлены современные методы оценки технического состояния, физического износа и остаточного ресурса строительных конструкций.

Предназначено для магистрантов специальности «Строительство зданий и сооружений», может быть использовано студентами строительных специальностей, зрителями зданий, инженерно-техническими работниками жилищно-коммунальных служб, проектных и строительных организаций.

УДК 624.01/04(075.8)
ББК 38.05

ISBN 978-985-891-107-2

© Васильев А. А., 2023
© Оформление. БелГУТ, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение эксплуатационной надежности и долговечности зданий и сооружений – основная задача обследовательских, проектных, строительных и эксплуатирующих организаций. Она может быть осуществлена только на основании качественного выполнения различных типов технической оценки строительных конструкций.

Техническая оценка строительных конструкций основана на выявлении дефектов и повреждений, с определением их характеристик. Таким образом, точность установления параметров дефектов и повреждений определяет качество и объективность оценки технического состояния, остаточного ресурса и физического износа строительных конструкций, прогнозирования их долговечности.

В предлагаемом учебном пособии рассмотрены основные характерные дефекты и повреждения, возникающие в процессе изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций зданий и сооружений, причины их возникновения и возможные последствия. Приведены графические примеры дефектов и повреждений элементов и конструкций, выполненных из различных материалов.

Проанализированы существующие методы оценки технического состояния элементов и конструкций, остаточного ресурса и физического износа элементов и конструкций, зданий и сооружений в целом. Представлены современные методы, в том числе разработанные автором, позволяющие значительно повысить качество и объективность оценки и прогнозирования технического состояния, остаточного ресурса и физического износа строительных конструкций.

Автор выражает благодарность канд. техн. наук, доценту, заведующему кафедрой строительства и эксплуатации зданий и сооружений филиала БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала БНТУ» А. П. Стрельчене; канд. техн. наук, профессору этой же кафедры И. И. Неверовичу; доценту кафедры промышленного и гражданского строительства Белорусско-Российского университета, канд. техн. наук, доценту Е. Е. Корбут за ценные замечания и дополнения, высказанные при рецензировании данного учебного пособия.

1 ДЕФЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ

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.

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

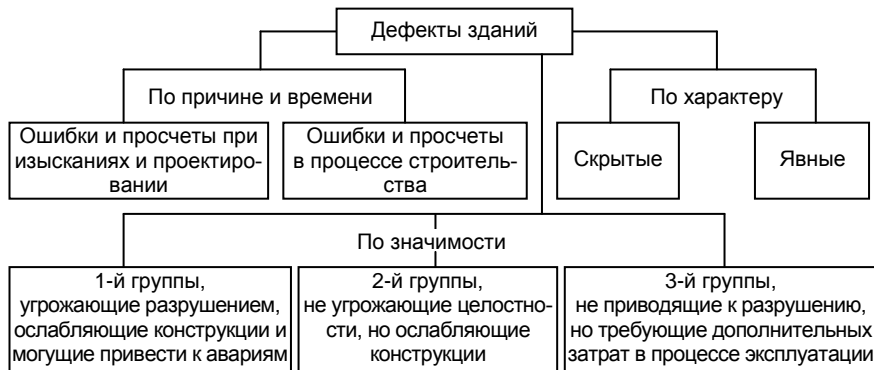


Рисунок 1.1 – Классификация дефектов зданий

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*.

Дефекты, причины их возникновения и их влияние на изменение технического состояния конструкций зданий и сооружений, изучались и изучаются различными исследователями [1-16].

1.1 Характерные дефекты элементов и конструкций строительных объектов при их изготовлении и возведении

1.1.1 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 состоянии 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.

1.1.2 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 изготовлении. Понижение прочности бетона сказывается на прочности фундаментов на продавливание, условиях заделки колонны в фундаменте.

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

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

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

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

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

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

верков, возводимых в летних условиях, приводит к пересыханию бетона и потере им прочности.

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

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

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

При устройстве забивных свай встречаются следующие основные дефекты:

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

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

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

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

- заделка свай с преднапряженной арматурой в ростверк после срезки их голов без дополнительного армирования, обеспечивающего их анкеровку в ростверке, что может привести к снижению прочности узлов сопряжения свай.

К дефектам, вызывающим неравномерные осадки, относятся:

- отсутствие пробной забивки свай в ходе изысканий и в начале производства работ с регистрацией в журнале работ;

- нарушение нормативных требований замера отказа при забивке свай;

- невыполнение контрольной добивки свай после их «отдыха» при отказе, превышающем расчетный;

- продолжение производства работ без соответствующего решения проектной организации в случае недогружения свай до проектной отметки при отказе, равном или меньше расчетного, а также при превышении расчетного отказа свай при контрольной добивке;

- несоблюдение нормативных требований о продолжительности последнего залога при погружении свай вибропогружателями;

- нарушение требований о количестве подмывных труб и прекращении подмыва на последнем метре погружения при погружении свай забивкой с применением подмыва струей воды;

- превышение нормативных значений отклонения свай в плане или от вертикали.

При устройстве буронабивных свай встречаются следующие основные дефекты:

- снижение подвижности бетонной смеси по сравнению с проектной, что обуславливает нарушение сплошности ствола сваи;

- длительные перерывы между окончанием бурения скважины и началом бетонирования сваи в неустойчивых грунтах (достигающие 24 часов и более), что ведет к снижению прочности из-за возможных вывалов грунта;

- проведение укладки бетонной смеси в скважину с длительными перерывами, сброс бетонной смеси с высоты, превышающей допустимую, что вызывает снижение прочности из-за нарушения сплошности;

- оформление головы сваи с перерывом после бетонирования ствола (при этом подготовка поверхности к последующему бетонированию не произведена), установка кондуктора головы сваи со смещением от центра ствола, что может привести к снижению прочности;

- задержка извлечения обсадной трубы при изготовлении свай с креплением стенок скважины от обрушений обсадными трубами, что приводит к образованию трещин в свае при извлечении обсадной трубы;

- начало работ по устройству ростверков без приемки заглубленных в грунт и срезанных на проектном уровне свай, свай-оболочек или буронабивных свай, а также без оформления необходимой документации по устройству и приемке свайного поля, что может повлечь снижение несущей способности.

К снижению прочности фундамента приводят следующие дефекты:

- отсутствие зачистки забоя скважины от разрыхления грунта и шлама;

- несоответствие типа грунта основания данным инженерно-геологическим изысканиям;

- невыполнение проверки соответствия проекту расположения скважин в плане и их геометрических размеров.

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

Применение неправильной перевязки кирпича (например, кладка столбов «в корзинку»), нарушающей связь верстовых рядов с забутовкой, заполнение забутовки стен кирпичным боем могут вызвать обрушение сильно нагруженных столбов и простенков. Отсутствие перевязки наружной версты с забутовкой при кладке в зимних условиях методом замораживания приводит к обрушению наружного слоя стены при оттаивании кладки. Несоблюдение требований по раскладке тычковых рядов в клад-

ке, 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.

1.1.4 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 те-

ста и раствора на поверхности конструкций, усадки смеси при повышенных и резких температурных режимах обработки бетона, рыхловатости 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 подразделяются на поверхностные, глубинные и сквозные; могут быть 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, заставляя 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 проекте 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. Причинами расслаивания, хотя и относительно неглубокого, могут быть, как и в случае пыления поверхности, нарушения технологии отделки свежееуложенного бетона и неадекватный уход за ним.

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

Аналогичны причины возникновения высокой истираемости.

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

На выцветывание 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.

1.1.5 Стеновые панели крупнопанельных зданий

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 положению;
- надрезы, выбоины, вмятины в арматуре, закладных деталях;
- несоответствие характеристик бетона по плотности, прочности, морозостойкости проектным;
- 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 расщепленный 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 зависят 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.

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

- неудовлетворительное выполнение горизонтальных и вертикальных стыков панелей;
- применение для монтажа непригодных панелей.
- некачественное устройство стальных связей между панелями и между панелями и перекрытиями;
- смещение стеновых панелей из проектного положения.

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

С увеличением толщины растворных швов происходит некоторое снижение их прочности. Так, при толщине горизонтального шва 30 мм

его прочность на сжатие оказывается меньше несущей способности шва толщиной 20 мм (обычно принимаемой в проектах) в зависимости от типа панели и прочности раствора всего на 4–13 %.

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

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

При монолитных стыках прочность горизонтальных швов пропорциональна прочности бетона омоноличивания.

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

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

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

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

Если стеновая панель смонтирована с наклоном из плоскости стены, то в ней 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 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.

1.1.6 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.

1.1.7 Колонны

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 армирова-

ния 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.

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 косоое 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 связей могут быть по ошибке смонтированы в других пролетах, что будет замечено уже после монтажа каркаса.

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

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

1.1.8 Балки (ригели)

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

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

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

вает 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 стенах 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.

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 применения 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 следствие некачественного изготовления ригелей и колонн. Однако он может быть результатом смещения ригеля из проектного положения при монтаже.

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

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

Перекас закладной детали опорной зоны в балке (ригеле) или наверху колонны и опорной консоли приводит к отклонению плоскости балки (риге-

ля) от вертикального положения. Такой дефект приводит к появлению крутящих моментов, на которые балка (ригель) не рассчитана. Он более опасен для высоких стропильных балок.

1.1.9 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.

1.1.10 Плиты перекрытий и покрытия

Изготовление плит. При изготовлении плит покрытий наиболее часто встречаются дефекты, аналогичные дефектам изготовления балок (см. п. 1.1.8).

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.

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 дета-

ли оказываются утепленными относительно бетонной поверхности, строители часто укладывают отрезок арматурной стали. Это не обеспечивает требуемую прочность 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.

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

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

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

1.1.12 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.

1.1.13 Стальные конструкции

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.

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.

1.1.14 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.

1.1.15 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 свежешелюженным раствором – твердение стяжки при повышенной температуре воздуха без регулярной поливки ее водой или при пониженных температурах без противоморозных добавок (раствора поташа или солей азотнокислого кальция).

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

– нанесение грунтовок на загрязненное и пыльное основание;

– применение грунтовочных составов с пониженным количеством растворителя;

– применение неоднородного грунтовочного состава, необезвоженного битума или битума с пониженной температурой (менее 90 °С) при приготвлении 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 (древесины 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 мастик или клеев неравномерным слоем;
- несоблюдения правил крепления планок паркета гвоздями к деревянному основанию.

Зыбкость покрытия при ходьбе по полу вызывают:

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

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

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

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

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

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

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

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 получают 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 свежешелюженного бетона и неадекватный уход за ним.

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

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

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

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

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

Волосные трещины, часто в виде сетки, как правило, проникают вглубь 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 влажностерождения;
- быстрое высыхание поверхности при жаркой и ветреной погоде;
- нарушение технологии ухода за свежешелюженным бетоном;
- посыпание свежего бетона сухим цементом;
- избыточная или преждевременная затирка, которая приводит к выводу на поверхность воды и наполнителя мелкой фракции.

1.1.16 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 мелкостучными материалами к основным конструкциям.

Данные дефекты способствуют появлению и развитию деформаций в перегородках.

1.1.17 Кровли из рулонных материалов

При устройстве кровель из рулонных материалов возможны следующие основные дефекты:

- выполнение пароизоляции с разрывами без заведения на выступающие элементы;
- применение теплоизоляционных материалов, не соответствующих требованиям проекта по влажности;
- укладка теплоизоляционных материалов с разрывами, сверхнормативными отклонениями от требований проекта по толщине и заданным уклонам;
- выполнение основания под гидроизоляцию, не соответствующего требованиям по прочности, монолитности и ровности поверхности;
- необеспечение плотности прилегания к основанию рулонных материалов при наклейке;
- несоблюдение величины нахлеста соседних полотнищ, допущение их перекрестной наклейки;
- невыполнение требований проекта по устройству примыкания мягкой кровли к парапету и выступающим частям;
- отсутствие температурно-усадочных швов в стяжке;
- провисание кровельного ковра вследствие больших зазоров-швов между плитами утеплителя;
- отсутствие наклонного переходного бортика;
- попадание влаги между слоями рулонного ковра в процессе строительства;
- приклейка слоев рулонных материалов по мокрым или запыленным поверхностям и в местах механических повреждений;
- отсутствие надежного закрепления верхнего края кровельного ковра и фартука;
- недостаточная теплостойкость мастичного слоя наплавленных материалов, применяемых для наклейки слоев дополнительного ковра;
- выполнение нахлестки стыков полотнищ верхнего слоя против направления господствующих ветров;
- отсутствие предварительной битумной огрунтовки цементной стяжки или бетонного основания;

- небрежное, с пропусками, покрытие мастикой поверхности основания (или нижележащего слоя кровли) и недостаточное промазывание мест приклеивания кромок полотнищ;
- механические повреждения покрытия при производстве кровельных работ;
- зыбкость основания;
- неправильный подбор состава мастики;
- недостаточное зажатие концов полотнищ металлическим фартуком, установленным на торце карнизной плиты;
- деформация теплоизоляционных пенополистиролов и других материалов, уложенных без необходимой выдержки после изготовления;
- недостаточный отход капельника от вертикальной поверхности;
- применение вместо битумных материалов и других видов мастик чистого битума;
- отсутствие защитного слоя в кровлях с уклоном до 10 %;
- волнообразное отслоение краев полотнищ рубероида;
- впадины на поверхности кровельного покрытия глубиной более 10 мм;
- неплотное прилегание кровельного покрытия к основанию в местах при-
мыкания 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 невы-
держивание 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 обра-
зовавшейся при таянии снега вследствие несоблюдения уклона кровли
проектировщиками в стадии проектирования или строителями в процес-
се выполнения строительных работ;
- расстройство швов в местах наклейки одной полосы рулонного ма-
териала 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 – «меш-
ков», 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 заложеной 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 вентблокам 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 утратой 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.

1.1.18 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.

1.1.19 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, которые превышают 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.

1.1.20 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 ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ

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

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;
- износосовые, связанные с изменением свойств материалов конструкций во времени.

Отдельно следует учитывать повреждения чрезвычайного характера, вызванные стихийными бедствиями.

Классификация причин, вызывающих повреждения, представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – 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 выделений.

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

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

- физико-химические (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.

2.1 Эксплуатационные повреждения от различных видов воздействий

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.

Повреждения конструкций, причины их возникновения и их влияние на изменение технического состояния конструкций зданий и сооружений, изучались и изучаются различными исследователями [1–3, 10–12, 16–31].

2.1.1 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 объе-

ма – 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 минус 22 °С давление ото 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 замораживанию и последующему оттаиванию, приобретает взрыхленную структуру, что обуславливает дополнительную его осадку под нагрузкой.

Процесс промерзания грунтов сопровождается изменением их начальной влажности: в глинистых грунтах влажность увеличивается; в водонасыщенных песках (при промерзании в открытой системе) начальная влажность уменьшается, а в малоувлажненных увеличивается.

Вода в грунте основания, независимо от того, является ли она поверхностной, грунтовой или капиллярной, всегда создает опасность промерзания грунта из-за повышения его теплопроводности при увлажнении. Поскольку при замерзании влаги и дополнительном 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, содер-

жащегося в мерзлых грунтах и цементирующего минеральные частицы грунтов. При длительном действии нагрузки лед медленно, но беспрерывно 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 минус 22 °С, 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 °С, так как в ней растворены вещества, понижающие температуру замерзания. В капиллярах диаметром 10^{-5} см и менее вода замерзает при температуре ниже минус 25 °С.

Пористые материалы, сообщающиеся с наружной поверхностью крупными порами, не разрушаются. Если такие поры связаны волосяной сетью капилляров и все они заполнены влагой (насыщенное состояние), то при ее замерзании они разрушаются. Самым устойчивым к замораживанию является материал с однородными и равномерными порами, наименее устойчивым – с крупными порами, соединенными тонкими капиллярами, так как перераспределение влаги в них затруднено.

Напряжение в конструкциях зависит не только от температуры охлаждения, но и от скорости замерзания и числа переходов через 0 °С; оно тем сильнее, чем быстрее происходит замораживание. Камни и бетоны с пористостью до 15 % выдерживают 100–300 циклов замораживания.

Уменьшение пористости, а следовательно, и количества влаги повышает морозостойкость конструкций.

Влияние влаги на процесс разрушения конструкций неодинаково. В одних случаях она как поверхностно-активное вещество ускоряет разрушение, в других, являясь хорошим растворителем, действует в качестве химически активной агрессивной среды. Наличие на поверхности и в теле каменных материалов пор, пустот, капилляров и микротрещин приводит к увеличению площади их удельной поверхности, что повышает возможность контакта конструкции со всеми видами влаги.

Молекулы воды обладают дипольными моментами. Они ориентируются в зоне действия силовых полей, образование которых связано с развитием микротрещин или дефектов кристаллических структур. Дипольная ориентация воды в адсорбционном слое повышает ее плотность и вязкость. В результате этого вода приобретает упругость, близкую к упругости материала конструкции. По мере сужения микротрещин упругость воды повышается, вследствие чего усиливается ее расклинивающее действие. Возрастание внутренних напряжений, вызванных расклинивающим действием влаги, приводит к значительному снижению прочности материала. Толщина слоя адсорбционно-связанной воды – примерно $1,5 \cdot 10^{-5}$ см; расклинивающее действие влаги возникает при толщине полимолекулярных пленок около $3 \cdot 10^{-5}$ см.

Силы капиллярного давления воды при заполнении пор и капилляров вызывают сложные напряжения в материале каменной конструкции. Растягивающие напряжения зависят от поверхностного натяжения:

$$P_a = (2\alpha / r) \cos\theta, \quad (2.1)$$

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 формулой (2.1), 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 усло-

виях 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

$$(QdT)/T = V_B dP_B - V_L dP_L, \quad (2.2)$$

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:

$$Q/T = (V_B - V_L) dP. \quad (2.3)$$

Если задать определенные значения температуры, можно вычислить то давление, которое оказывает замерзшая вода на материал конструкции. Так, при понижении температуры на 1 °С давление в порах материала каменной конструкции увеличится на $dP = 1,347 \cdot 10^7$ Па (135 кг/см²). Следовательно, при понижении температуры до минус 20 °С в материале, поры которого полностью заполнены водой, напряжения, вызванные давлением льда, достигнут $2,7 \cdot 10^8$ Па (2700 кг/см²). Когда вода свободно вытекает из пор, в которых образует 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 происходит примерно в 20–40 раз быстрее, чем в случае замораживания бетона, насыщенного водой.

Не исключая указанный механизм деструкции бетона при замораживании, ученые Германии развивают идею об ускорении разрушения бетона при замораживании вследствие образования дополнительного количества этtringита.

При замораживании бетона наблюдаются четыре основных вида процессов:

- быстрое замораживание и оттаивание на воздухе с разрушением бетона вследствие различий в коэффициентах температурного расширения;

- медленное одностороннее замораживание бетона ограждающей конструкции (при положительной температуре внутреннего помещения) с постепенным продвижением фронта вглубь бетона;

- быстрое всестороннее замораживание бетона тонкостенных конструкций с образованием льда в поверхностных слоях, что приводит к «закупорке» воды внутри конструкции и при достаточно высокой степени водонасыщения – к разрушению бетона, проявляющемуся в шелушении его поверхностных слоев;

- одностороннее замораживание пористого материала, в котором возможна миграция воды в парообразном состоянии к холодной поверхности и образование линз льда – аналогично процессу пучения грунта.

Для металлических конструкций также неблагоприятны низкие температуры. Одним из факторов, способствующих переходу конструкций в хрупкое состояние, является низкая температура. Поэтому важно строгое выполнение требований 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.

2.1.2 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, 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 теплопро-

водность 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 2.1).

Таблица 2.1 – 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 водосточков
Масляное покрытие стен и потолка	Выцветшие пятна; потеки; клейкая поверхность; запах плесени; отслоение масляного покрытия, шелушение	Увлажнение или действие солей; отсутствие отопления и вентиляции в помещении
Известковая побелка стен и потолка	Вспучивание и отслаивание	Увлажнение конструкции; отсутствие отопления и вентиляции в помещении
Стыки сборных железобетонных конструкций	Появление сырых пятен, трещин, высолов и потеков битума	Разрушение гидроизоляционного слоя
Полы помещений	Появление влаги на полу; отслаивание плитки, линолеума и т. д.	Подпор грунтовых вод; отсутствие или засорение дренажа; дефекты гидроизоляции пола
Внутренняя 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 конструкций, эксплуатируемых внутри помещений – 8–10; наружных конструкций – 15–18.

В дальнейшем при неблагоприятных условиях эксплуатации влажность материала конструкций может существенно увеличиваться.

Атмосферная влага в конструкциях может находиться в виде воды или льда. Увлажнение конструкций атмосферными осадками происходит вследствие смачивания их дождевой водой при неорганизованном водоотводе с крыши, малом выносе карниза, а также при повреждении кровель, водосточных труб и желобов, покрытий карнизов, парапетов, балконов или в результате гигроскопического увлажнения атмосферным воздухом.

При каменном или плотном бетонном наружном слое стены вода в нее проникает всего на несколько миллиметров и под влиянием солнечной радиации и ветра быстро испаряется. В пористых конструкциях, а также при некачественно выполненных швах в однослойных крупноразмерных конструкциях дождевая влага проникает в стены глубоко, 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 разру-

шению 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, мг/л: азота аммонийного – 60–130, хлоридов – 70–190, 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, при температуре минус 20 °С и 100%-й 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 высокая.

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, при температурном перепаде от минус 20 до плюс 20 °С перепад парциального давления составляет (17,54 – 0,77) · 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 ма-

териалом, 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 слиянию воды в пустотах и порах в теплопроводящую пленку, в результате чего теплопроводность конструкций повышается. Объясняется это тем, что теплопроводность воды [$\lambda = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$] 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 – внутри 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. 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 поверх-

ности стены. Особенно это важно при защите от переувлажнения наружных стен влажных и мокрых помещений (бань, саун, прачечных и др.).

При выборе наружной отделки стен следует помнить, что опасны как ее паронепроницаемость так и чрезмерная пористость. Если в первом случае возможно переувлажнение стены конденсатом, то во втором – атмосферной влагой.

Увлажнение капиллярным и электроосмотическим подсосом грунтовой влаги характерно для стен, у которых отсутствует горизонтальная гидроизоляция или когда она расположена ниже отмостки.

Наиболее устойчивым и трудноустраняемым видом сырости является увлажнение стен влагой из грунта – грунтовая сырость. При повреждении гидроизоляции или при подсыпке грунта вокруг здания выше расположения гидроизоляции происходит увлажнение конструкций, с которым нелегко бороться; оно осуществляется двумя путями:

- капиллярным поднятием влаги в конструкции;
- электроосмотическим поднятием влаги.

Механизм капиллярного увлажнения основан на действии сил притяжения между молекулами твердого тела и жидкости (явление смачивания). При отсутствии в материале стены гидрофобных (водоотталкивающих) веществ вода смачивает стенки капилляров и поднимается по ним. Высоту поднятия воды в капилляре h можно определить по известной формуле Д. Жюрена

$$h = \frac{2a}{r(\rho_1 - \rho_2)g}, \quad (2.4)$$

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 $725 \cdot 10^{-5}$ 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 ее диффузный слой постоянно меняется. Поскольку активная поверхность пористой диафрагмы из кирпича, керамики в контакте с водой имеет отрицательный потенциал, диффузный слой воды, несущий положительный заряд, переносится к катоду. Потенциал диффузного слоя назван электрокинетическим. Чем выше этот потенциал, тем интенсивнее перенос жидкости. Интенсивность электрокинетического воздействия определена опытным путем.

Следует отметить, что слабые электрические поля всегда присутствуют в стенах, испытывающих перепады температуры по длине или на противоположных поверхностях (термоэлектрический эффект Зеебека). При этом положительные заряды (аноды) группируются главным образом у основания стены в зоне контакта с грунтом, а отрицательные (катоды) – вверху.

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 2.2, а дождевой влагой различных типов конструкций – в таблице 2.3. Распределение повреждений, вызванных увлажнением через различные конструкции зданий, по данным М. Д. Бойко, приведено в таблице 2.4.

Таблица 2.2 – 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 2.3 – Распределение повреждений дождевой влагой различных типов конструкций

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

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 парообразную, либо в гигроскопическую влагу, удерживающуюся в виде молекул на частицах грунта молекулярными силами, в пленочную (поверх молекулярной) и гравитационную, свободно перемещающуюся в грунте под действием сил тяжести. Последняя может доходить до грунтовой воды, повышая тем самым ее уровень.

Вода в грунтах всегда представляет собой раствор с изменяющимися концентрацией и химическим составом, что отражается и на степени ее агрессивности. Оценивая агрессивность грунтовых вод, следует иметь в

2.1.3 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.

Таблица 2.4 – 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

виду ее переменный характер: с течением времени у подземной части сооружений водный режим может изменяться, и при этом агрессивность среды повышается или снижается.

Грунтовая вода, в свою очередь, вследствие капиллярного поднятия перемещается вверх на значительную высоту и также обводняет верхние слои грунта. В некоторых условиях капиллярная и грунтовая воды могут сливаться и устойчиво обводнять подземные части сооружений, в результате чего усиливается коррозия конструкций, снижается прочность оснований.

Изменение минералогического состава грунтовых вод меняет их агрессивность по отношению к подземным частям сооружений. В районах с большим количеством осадков (северных) уровень грунтовых вод поднимается и снижается их карбонатная жесткость (количество кальция) за счет разбавления грунтовой воды (в виде раствора) осадками; это повышает ее способность к выщелачиванию извести в каменных и бетонных конструкциях.

В засушливых (южных) районах в связи с обильным испарением влаги при отсутствии осадков увеличивается минерализация воды в верхних слоях грунта, т. е. в зоне подземных частей сооружений. Повышение содержания в воде солей, способных кристаллизоваться при взаимодействии с цементом или при испарении влаги, вызывает иной вид разрушения – кристаллизационный.

Испарение воды и увлажнение грунтов осадками приводят к движению в них кислорода, вследствие чего коррозионная активность среды также возрастает. При необратимых процессах коррозии, например металлов, для сооружений опасно даже временное повышение агрессивности окружающей среды.

Уровень грунтовых вод колеблется в зависимости от времени года, водопроницаемости грунтов и других факторов. Наиболее высокий уровень грунтовых вод наблюдается весной, после таяния снега, а самый низкий – в конце лета и в конце зимы.

Причинами прогрессирующего разрушения многих зданий и инженерных сетей, которое находит свое выражение в развитии неравномерных осадок фундаментов, их разрушении, трещинообразовании в стенах, разрушении гидроизоляции, затоплении подвалов, коррозии труб и элементов водопроводных систем, является постепенное ухудшение состояния и свойств грунтов оснований, в т. ч. повышение агрессивности подземных вод и грунтов в условиях локального подтопления и загрязнения территорий. При этом негативные изменения химизма грунтовых вод и окислительно-восстановительной обстановки подземных лито- и гидросферы часто протекают одновременно с активизацией микробиологической деятельности в обводненной толще грунтов. Химические, физико-

химические и биохимические процессы приводят к значительному преобразованию подземных вод, состава, состояния и свойств грунтов, материалов кладки фундаментов и подвальных помещений, а также коррозии труб. Органические соединения отходов животных и человека относятся к числу легкоокисляемых в химических реакциях и утилизируемых микроорганизмами, вследствие чего происходит быстрая трансформация окислительной обстановки в грунтовых водах и переход ее в восстановительную.

Химический состав подземных инфильтрационных вод обычно меняется в зависимости от времени года.

Агрессивность грунтовых вод по отношению к различным материалам зависит от их реакции (кислая, щелочная), концентрации, а также от вида материала. Воздействие грунтовых вод на строительные материалы весьма многообразно. Так, слабокислые растворы предохраняют от гниения деревянные части, подавляя грибковые (гнилостные) процессы, но окисляют и разрушают некоторые металлы. Щелочные растворы в малых концентрациях способствуют сохранению бетона, но они более агрессивны, чем кислые, по отношению к битуму, асфальтобетону, дереву.

Признаков агрессивности воды очень много. За основные, чаще всего встречающиеся, признаки агрессивности воды по отношению к бетонным и каменным конструкциям приняты следующие:

- водородный показатель pH;
- бикарбонатная щелочность, ммоль/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 углекислотную.

3 КОРРОЗИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Коррозия – самопроизвольное разрушение твердых тел, вызванное химическими, электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой.

Коррозия – основной вид повреждений конструкций.

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 условия окружающей среды при химической коррозии подразделяют на неагрессивные, слабоагрессивные, умеренно агрессивные и сильноагрессивные, а также на соответствующие им классы по условиям эксплуатации (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – 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.

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 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – 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 %.	

Таблица 3.3 – Группы агрессивных газов в зависимости от их вида и концентрации

Газ	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.

Окончание таблицы 3.3

Газ	Концентрация для групп газов, мг/м ³			
	A	B	C	D
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 водо- род	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.

Классы среды по условиям эксплуатации при воздействии различных типов сред на конструкции из кирпича, бетона и железобетона, металлов и древесины представлены в [32].

Коррозионные процессы более интенсивно протекают в жидкой агрессивной среде. По отношению к сухим материалам конструкций газообразная среда, содержащая пылевидные твердые частицы, не агрессивна.

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

Особенно вредные воздействия на конструкции оказывают:

- различные типы увлажнения;

– углекислый газ, сернистый ангидрит, фтористый водород, а также щелочи и кислоты;

– масла, нефть, нефтепродукты, растворители, различные виды сельскохозяйственных удобрений (фосфорные, аммонийные, азотные, калийные) и др.

3.1 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.

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.

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.

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 капилляров и пор, сообщающихся между собой и открытых на поверхности. Такой материал быстро насыщается влагой, ускоряющей его физическую коррозию. Кирпич пластического прессования имеет закрытые поры, поэтому медленнее насыщается влагой. Насыщение влагой каменных материалов в естественных условиях происходит значительно быстрее, чем высыхание.

При эксплуатации зданий следует обращать внимание на состояние тех конструктивных элементов, которые выполнены из материалов, имеющих разную плотность. Так, в конструкциях из песчаника и известняка в месте их контакта наблюдается ускоренное разрушение песчаника. Объясняется это тем, что известняк как материал с более крупными порами быстрее впитывает и отдает влагу плотному песчанику, имеющему мелкие поры. При этом количества влаги на границе контакта этих двух материалов достаточно для того, чтобы все поры песчаника были полностью заполнены водой. Влага, поступающая из пор известняка, содержит растворенные соли, которые при испарении влаги кристаллизуются и создают большие поровые напряжения. Значительно большие напряжения возникают в мелкопористых материалах, контактирующих с крупнопористыми, при замерзании в них влаги.

Аналогичные явления происходят в швах каменной кладки, если использован раствор более плотного состава, чем материал кладки. В этом

случае раствор в швах кладки быстро разрушается и выветривается. Одновременно разрушается и кирпич по кромкам в месте примыкания к раствору, так как на нем скапливается влага, не успевающая мигрировать в раствор.

Причиной разрушения каменных конструкций является также устройство на наружных стенах фасадов плотных штукатурок. Кирпичные стены, например, при нормальном режиме эксплуатации содержат 0,055–0,53 % влаги (по массе). Миграция происходит тем интенсивнее, чем больше перепад температур, при этом влага перемещается в сторону низких температур. Наличие плотной штукатурки приводит к скоплению влаги между штукатурным слоем и наружной гранью кирпичной кладки. При отрицательных температурах влага замерзает, возникают напряжения, разрушающие штукатурку и поверхностный слой каменной кладки. Кроме того, плотная цементная штукатурка создает значительные напряжения из-за разности линейных температурных расширений: линейные расширения кирпичной кладки примерно в два раза меньше линейных расширений цементного раствора; для кладки из шлакобетонных камней эта разница еще больше. При этом надо иметь в виду, что температура штукатурного слоя фасада всегда выше температуры слоя кладки, находящейся под штукатуркой.

Одним из видов физической коррозии каменных конструкций является также растворение влагой и унос некоторых веществ из тела конструкций. К этому виду относится коррозия выщелачивания. Фильтрующиеся через конструкцию воды могут растворять и уносить находящийся в кладочном растворе гидроксид кальция, снижая его прочность. На начало разрушения каменных конструкций указывают появляющиеся на поверхности конструктивного элемента белые высолы, которые свидетельствуют о том, что в материале происходит растворение солей материала и вынос их наружу в сторону более низких температур.

Следует отметить, что если наружные стены покрыты плотной штукатуркой из цементного раствора, то их воздухопроницаемость снижается в 20 раз. Коэффициент линейной усадки (набухания) материала штукатурки в 35 раз больше, чем кирпича. Кроме того, в этом случае создаются условия для интенсивного накопления влаги на границе «кирпичная кладка – цементная штукатурка». Эти явления сопровождаются разрушением каменных и кирпичных кладок, при этом термическое сопротивление стен снижается.

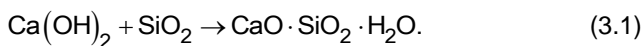
Лучшими эксплуатационными параметрами обладают сложные (известково-песчаные) растворы, штукатурки из которых имеют коэффициент воздухопроницаемости, почти совпадающий с коэффициентом воздухопроницаемости каменных кладок, а в некоторых случаях даже больший. Это создает благоприятные условия для беспрепятственного удаления мигрирующей влаги из материала кладки. Известковый рас-

твор устойчив при знакопеременных температурах, так как коэффициенты его линейного температурного расширения и кирпичной кладки почти совпадают.

3.1.1 Конструкции из силикатных материалов

Силикатные материалы представляют собой соли кремневых и поликремневых кислот, алюмосиликаты, кальциевые силикаты или чистый кремнезем с примесями других соединений.

Силикатный кирпич и изделия из силиката представляют собой гидросиликат кальция, который является продуктом автоклавной обработки материала, получаемого в результате взаимодействия извести и кремнезема:



При дальнейшем твердении на воздухе изделия из гидросиликата кальция под воздействием диоксида углерода карбонизируются. Скорость коррозии конструкций из силикатных материалов, как и других каменных конструкций, зависит от ряда факторов: химического и минералогического составов, характера их пористости (открытые или закрытые), типа структуры материала (аморфная или кристаллическая), характера агрессивной среды и концентрации химически активных веществ и др.

Присутствие в силикатных изделиях извести и углекислого кальция делает конструкции, изготовленные из силикатного кирпича и блоков, нестойкими даже против слабых водных растворов минеральных и органических кислот. Силикатные конструкции стойки по отношению к щелочным агрессивным средам. Вследствие наличия в воздухе и грунтовой воде веществ (оксидов, газов), образующих растворы кислот, во влажной среде силикатные изделия быстро разрушаются.

Разрушение пористых силикатных конструкций при наличии сообщающихся пор происходит не только на поверхности, но и в толще материала. В замкнутых, не сообщавшихся друг с другом порах (например, в красном кирпиче пластического прессования) разрушительное влияние агрессивных сред проявляется в более ограниченном объеме, чем в открытых порах.

При кристаллической структуре материала силикатных конструкций коррозия протекает медленнее, чем при аморфной. Интенсивное разрушение силикатных материалов происходит во всех случаях, когда для изготовления конструкций применяется аморфный кремнезем. Механизм разрушения силикатных конструкций при действии на аморфный кремнезем щелочей аналогичен рассмотренному ранее.

Коррозионная стойкость конструкций из силикатного кирпича определяется в основном свойствами входящих в состав материала конструктивных веществ, главным образом – извести, обладающей невысокой стой-

костью 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.

3.1.2 Конструкции из минеральных 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_o , который определяется из выражения

$$M_o = [\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})] / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3), \quad (3.2)$$

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.

3.1.3 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.

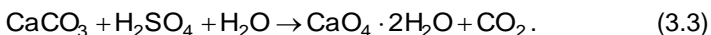
Осадочные породы отличаются высокой коррозионной стойкостью. Среди осадочных пород можно назвать песчаники, состоящие из зерен кварцевого песка, сцементированного карбонатом кальция, кремнеземом, гипсом, оксидами железа, глинистыми материалами; известняки, состоящие из кальцита. Песчаники и плотные известняки используют в виде плит и фасонных деталей для облицовки стен, изготовления лестничных проступей, подоконников. Пористые известняки и известняк-ракушечник с плотностью 1500–2000 кг/м³ и прочностью на сжатие $2,5 \times 10^6$ – $13,5 \times 10^6$ 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 CaCO₃ или магнезит MgCO₃. Несколько более кислотостойки конструкции из доломитов и плотных кремнистых известняков. Гипсовый камень CaSO₄ · 2H₂O и ангидрид CaSO₄ легко поддаются коррозионному разрушению под действием кислот; эти материалы растворимы в воде, поэтому их используют в элементах, эксплуатирующихся только внутри помещений.

Из метаморфических горных пород наиболее распространены в строительных конструкциях известняковые песчаники, гнейс, кварциты и мрамор. Известняковые песчаники, сцементированные оксидом кремния, SiO₂ или SiO₂ · H₂O, 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_о, определяемым из выражения

$$M_o = \left\{ (\% \text{CaO} + \% \text{Mg} + \% \text{Na}_2\text{O} (\text{K}_2\text{O})) \right\} / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3). \quad (3.4)$$

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 3.4).

Таблица 3.4 – 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.

3.2 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 гиб-

нет 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.

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.

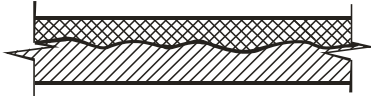
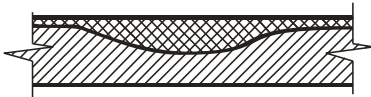
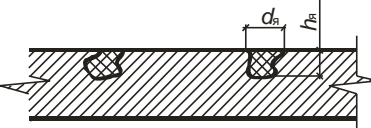
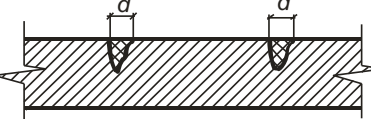
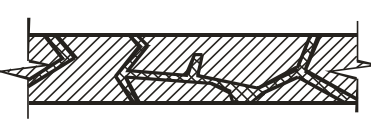
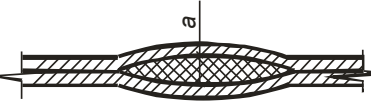
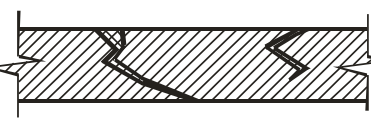
По характеру коррозионных поражений различают сплошную (или общую) и местную коррозии.

Основные виды коррозии стальных строительных конструкций по характеру коррозионных поражений представлены в таблице 3.5.

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.

Таблица 3.5 – Основные виды коррозии стальных строительных конструкций по характеру разрушения

Вид коррозии	Эскиз	Предельные параметры
Сплошная		Не допускается
Пятнами (равномерная)		Не допускается
Язвенная		$h_{я} \leq 0,5 \text{ мм,}$ $d_{я} \leq 2 \text{ мм}$
Точечная (питтинговая)		$d \leq 0,1 \text{ мм}$
Межкристаллитная		Не допускается
Щелевая и контактная		$a \leq 0,2 \text{ мм}$
Коррозионное растрескивание и коррозионная усталость		Не допускается

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 по-

верхность 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.

3.2.1 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 ко времени развития коррозионного процесса, выражают скорость коррозии, например, в случае равномерной коррозии ее скорость может быть определена по формуле

$$v = \Delta m / (St), \quad (3.5)$$

где Δm – убыль (увеличение) массы; S – площадь поверхности; t – время.

Обычно v выражают в $г/(м^2 \cdot ч)$ или $мг/(см^2 \cdot сут)$. Весовой показатель не всегда удобен, особенно если сравнивается коррозия металлов разной плотности. В таких случаях лучше пользоваться глубинным показателем коррозии, т. е. средней глубиной проникновения коррозионного разрушения в металл, мм/год:

$$П = 8,76v / \rho, \quad (3.6)$$

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 ($24 \text{ ч} \times 360 = 8760 \text{ ч}$); v – скорость коррозии, $г/(м^2 \cdot ч)$; ρ – плотность, $г/см^3$.

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:

$$K_{\sigma} = (\sigma_0 - \sigma_1 / \sigma_0) \cdot 100 \%, \quad (3.7)$$

где σ_0 – предел прочности до коррозии; σ_1 – предел прочности после коррозии, рассчитанный по отношению к первоначальной площади сечения металлического образца.

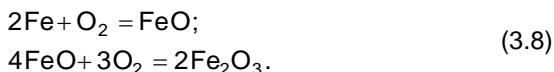
Для грубой оценки коррозионной стойкости металлов существует десятибалльная шкала (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Оценка коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Глубинный показатель коррозии, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	0,001	1
Весьма стойкие	0,001–0,005	2
	0,005–0,010	3
Стойкие	0,01–0,05	4
	0,05–0,10	5
Пониженностойкие	0,1–0,5	6
	0,5–1,0	7
Малостойкие	1,0–5,0	8
	5,0–10,0	9
Нестойкие	10,0	10

3.2.2 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 $(5 \dots 10) \cdot 10^{-5}$ 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 3.1). Обычно в условиях эксплуатации наблюдается именно такой механизм роста оксидной пленки металла, так как размер ионов самого металла меньше молекул кислорода.

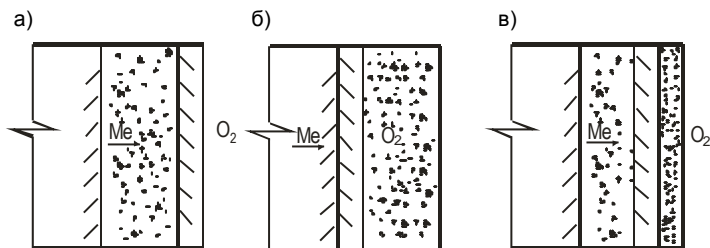


Рисунок 3.1 – Схема роста оксидной пленки при газовой коррозии:
 а – со стороны газовой среды; б – со стороны поверхности металла;
 в – между поверхностью металла и средой

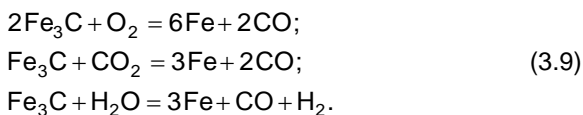
Окисление материала металлоконструкций, соприкасающихся с газовой средой, происходит в котлах, дымовых трубах котельных, водонагревателях, работающих на газовом топливе, теплообменниках, работающих на жидком и твердом топливе.

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.

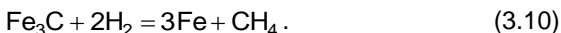
Интенсивность газовой коррозии зависит от свойств и скорости движения газов или воздушной среды, их температуры, равномерности нагрева материала конструкции и др. Для сплавов значительное влияние на скорость коррозии оказывает разница в интенсивности окисления различных компонентов. При нагревании стальных конструкций в результа-

те 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 $H_2O \rightarrow CO_2 \rightarrow O_2 \rightarrow SO_2$. В отличие от указанных металлов медь практически не корродирует в SO_2 , вольфрам слабо корродирует в CO_2 .

В среде перечисленных газов скорость газовой коррозии возрастает в ряду $Cr \rightarrow Ni \rightarrow Co \rightarrow Fe$.

Примеси. Примеси SO_2 , CO_2 , H_2O в воздухе значительно увеличивают скорость газовой коррозии малоуглеродистой стали.

При нагревании в атмосфере O_2 , CO_2 , H_2O кроме окисления может происходить обезуглероживание. Последнее возможно также в атмосфере, содержащей водород. В атмосфере CO , наоборот, может происходить науглероживание.

Температура. С увеличением температуры для металлов происходит снижение термодинамической возможности окисления. При этом константа скорости реакции окисления возрастает, а это приводит к увеличению скорости газовой коррозии.

Большое влияние на скорость окисления металлов оказывает режим нагрева. Колебания температуры при нагреве (особенно при попеременном нагреве и охлаждении) вызывают разрушение оксидных пленок и увеличение скорости газовой коррозии.

3.2.3 Электрохимическая коррозия

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

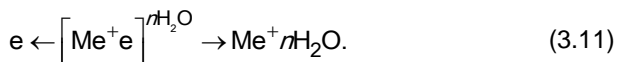
Электрохимическая коррозия металлических конструкций приводит к наибольшему разрушениям. Это объясняется тем, что среда, в которой она происходит (электролит, представляющий грунтовую или атмосферную влагу, морскую или водопроводную воду), очень широко распространена в производственных процессах и быту. Электрохимическая коррозия возникает при соприкосновении металлов с электролитами, т. е. с растворами, обладающими электропроводностью.

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

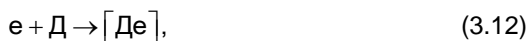
При контакте с воздухом на поверхности конструкции появляется тонкая пленка влаги, в которой растворяются примеси, находящиеся в воз-

духе, 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.

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

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

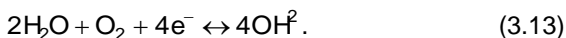
электродного потенциала зависит от природы металла и раствора, температуры и активности ионов металла в электролите. Когда активность ионов металла в растворе равна единице, а температура электролита – 25 °С, значение потенциала данного металла соответствует стандартному.

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 п о л я р и -

з а ц и е й . 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 (а н о д - н а я 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 д е п о л я р и з а т о р а м и , а сам процесс – д е п о л я р и з а ц и е й . 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 $Fe_3O_4 \cdot nH_2O$ и обычная красно-коричневая ржавчина $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, расположенная непосредственно на границе с электролитом. Так как доступ кислорода к более глубоким слоям оболочки из продуктов коррозии затруднен, в них образуются оксиды железа высшей валентности.

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

Электрохимическая коррозия возникает также при повреждении на отдельных участках оксидной или другой защитной пленки, в этом случае оксидная пленка служит катодом, на котором под действием кислорода образуются ионы гидроксида, а оголенная поверхность металла становится анодом.

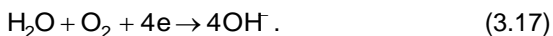
Локальными коррозионными элементами могут быть микроскопические или субмикроскопические примеси на микроскопически однородной поверхности. Любое загрязнение, например чужеродный металл, осаждающийся на поверхности металлической конструкции, вызывает появление электродного потенциала и служит причиной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

Наиболее опасными, вызывающими точечную коррозию, являются процессы неравномерной аэрации, сопровождающие неодинаковую скорость доставки кислорода к различным участкам конструкции. Участки, плохо снабжающиеся кислородом, становятся анодами и разрушаются.

Процессы точечной коррозии характерны для неравномерной аэрации в объеме электролита, представленного каплей. Это явление, например, для стальной не оцинкованной кровли объясняется следующим. Сталь при окислении быстро поглощает растворенный в капле кислород. Соприкасающаяся с воздухом кромка капли снабжается кислородом более интенсивно по сравнению с центральной частью, куда доступ кислорода затруднен. В середине капли железо под действием сил гидратации будет переходить в раствор капли в виде двухвалентного иона:



На краях капли в это время протекает процесс



Образующиеся гидроксил-ионы диффундируют внутрь капли, где вступают во взаимодействие с ионами двухвалентного железа. В результате реакции образуется гидроксид железа, который в дальнейшем при взаимодействии с кислородом переходит в ржавчину.

Точечная коррозия образуется также там, где анодами становятся относительно небольшие участки поверхности конструкции, покрытые адсорбированными пузырьками газа или другого инертного по отношению к материалу конструкции вещества. Под такими частичками кислород быстро иссякает, дальнейшее его поступление, по сравнению с другими участками, затруднено, вследствие чего образовавшиеся аноды быстро разрушаются, вызывая точечные поражения поверхности конструкций.

Интенсивность коррозионных процессов в большинстве случаев является функцией активности ионов водорода в растворе. Увеличение активности ионов водорода равносильно снижению pH раствора сопровождается увеличением скорости коррозии. Растворы с высоким содержанием pH (щелочные среды) растворяют металлы, гидраты окислов которых амфотерны (алюминий, цинк, свинец, олово и др.). Железо относится к металлам, которые растворяются в щелочах только при высоких концентрациях гидроксил-иона.

3.2.4 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^-) взаимо-

действуют 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 3.2). Это обусловлено образованием $\text{Fe}(\text{OH})_2$, насыщенный раствор которого имеет $\text{pH} = 9,5$.

При большем pH железо пассивируется и скорость коррозии уменьшается. В концентрированных щелочах при повышенной температуре скорость коррозии может снова увеличиться за счет образования гипoferрита FeO_2^{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- и 50%-х растворах соответственно. При более высокой концентрации кислот железо пассивируется и коррозия не

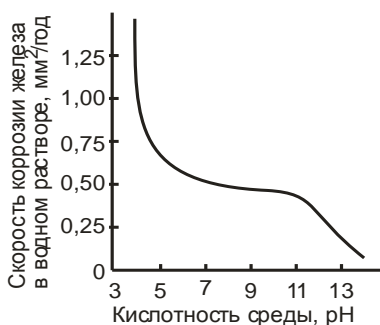


Рисунок 3.2 – Зависимость скорости коррозии железа в водном растворе от кислотности среды

происходит. В растворе HCl скорость коррозии железа ниже, чем в H₂SO₄ 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 % SO₂ – 70 %, а при наличии на поверхности ржавчины – 55–65 %.

Коррозии железа способствует загрязнение воздуха SO₂, HCl, H₂S, Cl₂, NaCl, NaSO₄, 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. 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 3.3).

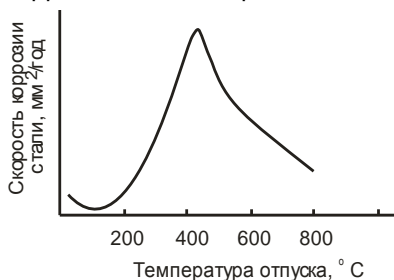


Рисунок 3.3 – Зависимость скорости коррозии стали от температуры отпуска

заметно повышает устойчивость низколегированных сталей к атмосферной коррозии.

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 %)

Высокохромистые стали. Сталь с содержанием хрома не менее 12 % переходит в пассивное состояние. При этом скорость коррозии снижается. В кислотах-неокислителях (HCl, H₂SO₄ разб.) с увеличением содержания хрома скорость коррозии стали растет, а в кислотах-окислителях (HNO₃, H₂SO₄ 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 HNO₃ (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 HNO₃, NaCl и других кислот.

Медь и ее сплавы. Медь может корродировать только с кислородной деполяризацией и переходит в раствор в виде Cu²⁺. При взаимодействии Cu²⁺ и OH⁻ образуется труднорастворимый гидроксид Cu(OH)₂. В присутствии H₂S образуется CuS, углекислого газа – (CuOH)₂CO₃, сернистого газа – CuSO₄ · 3Cu(OH)₂. В воде, нейтральных растворах и в атмосферных условиях медь обладает высокой коррозионной стойкостью за счет образования защитных пленок из продуктов коррозии Cu(OH)₂, (CuOH)₂ · CuCO₃. В присутствии сернистого газа образуется пленка CuSO₄ · 3Cu(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 Al₂O₃ толщиной 5–20 нм. Алюминий может корродировать и с кисло-

родной, 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 Al-Cu) приобретает высокие механические свойства только после старения. При естественном старении коррозионная стойкость дуралюмина не снижается. При искусственном старении интерметаллиды CuAl_2 , выпадающие по границам зерен, снижают коррозионную стойкость алюминия. Коррозионная стойкость сплава Al-Zn (В95) ниже, чем дуралюмина, который корродирует даже после естественного старения, а сплава Al-Mn – выше.

Магний имеет сильно отрицательный стандартный электродный потенциал, поэтому легко корродирует с водородной и кислородной деполяризацией. Он корродирует практически в любых кислотах, кроме плавиковой HF (образуется защитная пленка MgF_2), а в нейтральных растворах корродирует с водородной деполяризацией. Наиболее легко магний корродирует в NH_4Cl , растворяющем пленку гидроксида $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

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 промышленной 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 пере-напряжением 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 °С на поверхности цинка образуется плотная защитная пленка. В интервале температур 50–95 °С образуется зернистая пленка с низкими защитными качествами. В атмосфере коррозия цинка усиливается в присутствии SO₂, хлоридов, при высокой влажности и температуре. В этих условиях кадмий более стоек, зато цинк более устойчив в промышленной атмосфере.

3.2.5 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...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 3.4).

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

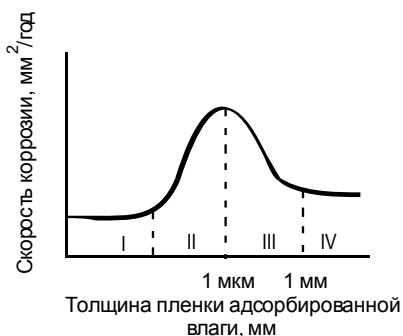


Рисунок 3.4 – Зависимость скорости коррозии от толщины пленки адсорбированной влаги

при кон-

денсации влаги 2–3 г/дм². 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 SO₂ 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 не одинакова в различных регионах.

Как уже отмечалось, в Беларуси наблюдается наибольшая продолжительность увлажнения поверхности металла в течение года, поэтому республика относится к числу наиболее опасных в коррозионном отношении стран СНГ. Глубина коррозии железа здесь достигает в сельских районах 43 мкм/год по сравнению с 9 мкм/год в Средней Азии и 13 мкм/год в Сибири. Максимум коррозионных потерь обычно приходится на осенний период.

Атмосферная коррозия ускоряется в присутствии некоторых газов (SO₂), 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, мкм/год, изменяются от 4 до 200 (для свинца – 4, алюминия – 8, олова – 12, меди – 12, никеля – 32, цинка – 50, железа – 200).

Ускорению коррозии способствуют шероховатость поверхности; наличие пыли и других загрязнений; факторы, облегчающие конденсацию влаги.

3.2.6 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. Причиной, обуславливающей 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:

$$P = K\tau^n, \quad (3.19)$$

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.

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 3.5).

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 макропар 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 3.5). При этом анодные участки и разрушения возникают там, где меньше доступ кислорода.

Наиболее опасные анодные участки образуются под включением почвы с меньшей кислородной проницаемостью, чем под основной массой грунта, а потому нежелательно наличие комков глины при обратной засыпке траншей песком, так как при этом образуются опасные локальные анодные участки.

Почвенная коррозия представляет в общем случае результат макро- и микрокоррозионных процессов: микропары обуславливают равномерную коррозию и тем большую, чем больше аэрация; макрокоррозионные пары имеют явно выраженный местный характер и на участках с мень-

шей 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.

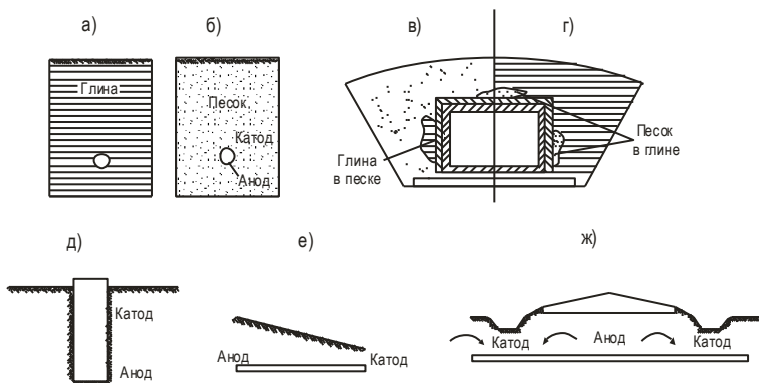


Рисунок 3.5 – Примеры почвенной коррозии как результата совместной деятельности микро- и макрокоррозионных пар

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 по этой причине анодные участки могут быть малыми, а коррозия – стать более опасной – язвенной. Среда лёссовых грунтов агрессивна по отношению к металлам в связи с высокой пористостью, наличием и неравномерным распределением карбонатов и сульфатов. Их коррозионная активность нередко выше, чем песчаных грунтов.

Влага и температура. Процесс коррозии подземных металлических конструкций начинается только при наличии в грунте влаги. Любые грунты даже в пустынных районах содержат некоторое количество влаги, достаточное для возникновения коррозии.

Коррозия металла в грунте при разной его влажности протекает по-разному. Слабая коррозия при малой влажности почвы объясняется малой скоростью диффузии ионов у анода – поляризацией. Увеличение влажности обеспечивает повышение скорости движения ионов и приводит к прекращению поляризации анода, т. е. развитию коррозии. Однако при избыточном содержании влаги в почве прекращается доступ кислорода к металлу и коррозия затухает. При большом количестве влаги

снижается концентрация почвенного раствора, что также приводит к менее активному его взаимодействию с металлом и замедляет коррозию.

Как видно из графиков на рисунке 3.6, наиболее интенсивная коррозия происходит при сравнительно небольшой весовой влажности, примерно от 10 до 20 %, причем эти границы для разных грунтов различны.

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

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.

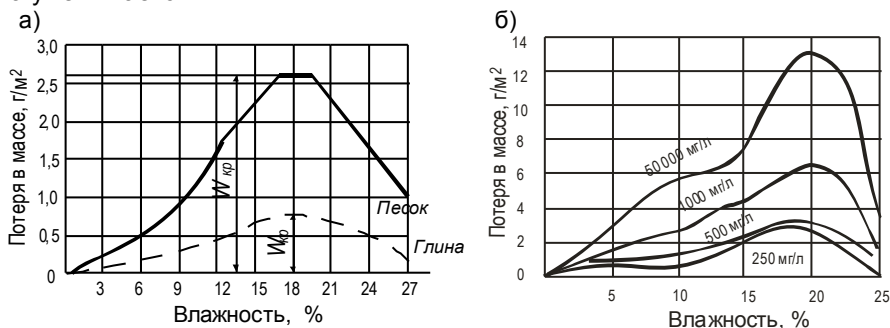


Рисунок 3.6 – Интенсивность коррозии в различных грунтах в зависимости от влажности (а) и концентрации солей в электролите (б)

Изменения влажности грунта во времени, при которых наиболее полно проявляется воздействие на коррозию как влаги, так и кислорода воздуха, создают наиболее благоприятные условия для активной коррозии. Постоянные колебания температуры грунта по вертикали передаются на конструкции, заглубленные в грунт. В свою очередь, разные температуры грунта и воздуха по глубине способствуют движению влаги: насыщенный парами почвенный воздух перемещается в зоне аэрации из более нагретого слоя к менее нагретому, где влага конденсируется на поверхности конструкции (сооружения).

Различия в температуре отдельных частей сооружения приводят к возникновению на отдельных его участках термогальванических макропар разных потенциалов и образованию анодных и катодных участков, а колебания влажности и доступ кислорода еще в большей степени влияют на почвенную коррозию. Замерзание грунта и влаги в нем тормозит коррозию; вместе с тем при замерзании влаги в защитных покрытиях

конструкций последние разрушаются, и при оттаивании грунта коррозия усиливается.

Интенсивная коррозия возможна при самом различном составе и концентрации водорастворимых солей (см. рисунок 3.6). 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, 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 3.7) рассматривается прежде всего в связи со стойкостью окисных пленок на поверхности металла при воздействии на него окружающей среды.

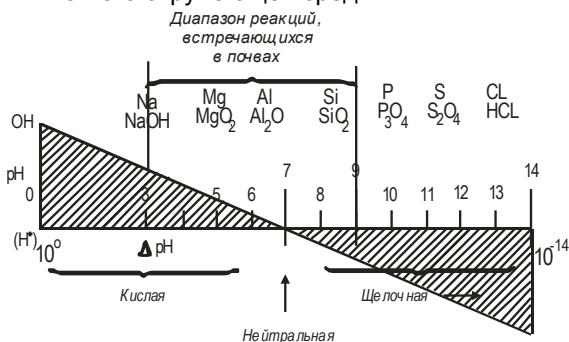


Рисунок 3.7 – Характеристика (рН) грунтовых вод и интенсивность коррозии металлов

В этом отношении все металлы делятся на *три группы* (рисунок 3.8).

Первую группу составляют благородные металлы: Pt, Ag, Au. Скорость их коррозии чрезвычайно мала и не зависит от рН.

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 °С скорость коррозии возрастает и железо корродирует как в кислотной, так и в щелочной среде. При высокой температуре коррозия снижается в связи с уменьшением содержания 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 .

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 3.7).

Таблица 3.7 – Оценка коррозионной агрессивности грунта

Удельное сопротивление грунта, Ом·м	<5	5–10	10–20	20–100	>100
Агрессивность грунта	Особо высокая	Высокая	Повышенная	Средняя	Низкая

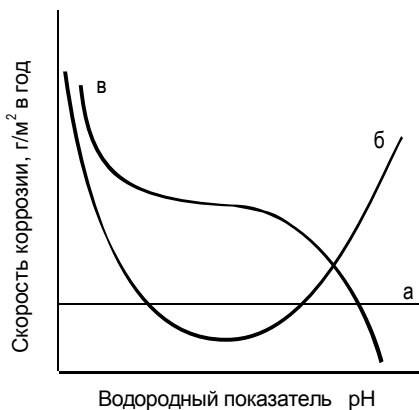


Рисунок 3.8 – Зависимость скорости коррозии металлов от показателя pH : а – Pt, Ag, Au; б – Zn, Al, Pb; в – Mg, Mn, Fe, Cu, Ni, Cr

3.2.7 Коррозия, вызываемая блуждающими токами

Коррозия, вызванная блуждающими токами, – это электрохимическая коррозия металла, обусловленная действием блуждающих токов. Основ-

ными 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 В, 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 тяговым электродвигателям. Пройдя тяговые двигатели, ток возвращается через колеса электровоза, рельсы и отсасывающую линию на подстанцию. Так как рельсовый путь не изолирован от земли, он оказывается шунтирующим проводником, по которому проходит часть тягового тока. Ток, ответвляющийся от рельсов в землю, называют *блуждающим*.

Растекаясь в земле и встречая на своем пути металлические трубопроводы, удельное сопротивление которых намного меньше удельного сопротивления земли, блуждающие токи натекают на них (катодная зона). Блуждающие токи, проникшие в трубопровод, стекают с него в зоне, близкой к отсасывающему пункту (анодная зона), в землю и через нее поступают в рельсы в районе присоединения отсасывающей линии к рельсам и далее – по отсасывающей линии – на подстанцию. При перемещении 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 сооруже-

ния. 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 натекать токи силой в сотни ампер; при наличии покрытия на сооружении они могут стекать лишь с мест повреждений в покрытии. Поэтому плотности стекающих токов в отдельных случаях очень велики. На практике встречаются случаи, когда в анодных зонах действия блуждающих токов сквозные отверстия в стенках труб образуются через несколько месяцев после прокладки трубопроводов. Необходимо иметь в виду, что это происходит только в том случае, если анодный блуждающий ток не приводит к пассивации металла. Если наступает пассивация, то потенциал металла смещается в область выделения кислорода. В этом случае блуждающие токи в значительной степени расходятся 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.

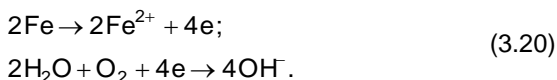
В реальных условиях протекания процесса электрохимической коррозии стальных трубопроводов в анодных зонах основными факторами, определяющими потери металла, являются параметры наложенного тока.

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».

3.2.8 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 3.9).



Рисунок 3.9 – Зависимость скорости коррозии от концентрации кислорода

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

При температуре свыше 70 °С потенциал цинка повышается, а потенциал железа почти не изменяется. Поэтому в гальванической паре цинк – железо в горячей воде цинк становится по отношению к железу катодом и ускоряет его разрушение. С увеличением скорости движения электролита интенсивность коррозии увеличивается в связи с усилением доставки кислорода (рисунок 3.11).

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.

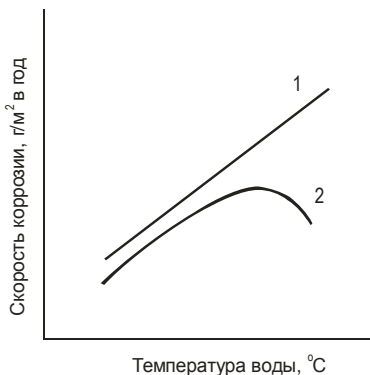


Рисунок 3.10 – Зависимость скорости коррозии металла труб от температуры воды в системах: 1 – открытых; 2 – закрытых

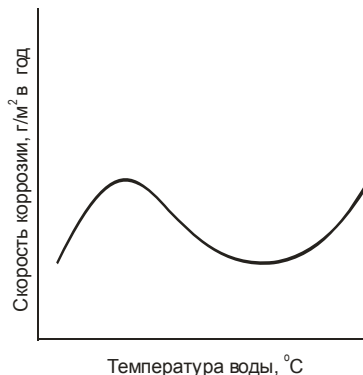


Рисунок 3.11 – Зависимость скорости коррозии от скорости движения воды в трубопроводе

Кроме коррозии трубопроводов, вызванной наличием в конструкции элементов из разных металлов, коррозионные процессы трубопроводов могут быть следствием неравномерной скорости воды, транспортируемой по трубам, на различных участках системы. Участки трубопровода, по которым вода течет с меньшей скоростью, становятся анодами и разрушаются.

В большинстве случаев определяющим фактором в процессах коррозии трубопроводов является жесткость воды. Временную жесткость воды вызывают гидрокарбонаты кальция и магния, которые под действием диоксида углерода образуются из нерастворимых карбонатов кальция и магния, а при уменьшении содержания диоксида углерода на стенках трубопровода выпадает накипь вследствие протекания обратной реакции. Поскольку карбонаты кальция и магния не проводят электрический ток, образовавшаяся накипь будет защищать трубопровод от дальнейшей коррозии.

Защитная пленка магнезита 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 небольшим напряжениям, появляются коррозионные поражения, наиболее часто – в виде трещин.

Образование застойных зон или зон с пониженной скоростью движения воды увеличивает возможность возникновения коррозии вследствие создания макропор неравномерной аэрации. Такие зоны могут возникнуть вследствие неправильной сварки трубопровода. При содержании в воде достаточного количества гидроксида натрия целостность защитной пленки магнезита также нарушится вследствие образования растворимого соединения Na_2FO_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.

3.3 Железобетонные конструкции

Железобетонные конструкции постоянно подвергаются воздействию внешней среды, в результате которого возникает коррозия материала. По характеру воздействий различают химическую, электрохимическую и механическую коррозии. Следует отметить, что граница между химической и электрохимической коррозией часто бывает условной и зависит от многих параметров окружающей среды.

При химической коррозии происходит непосредственное химическое взаимодействие между материалами конструкции и агрессивной средой, не сопровождающееся возникновением электрического тока. Химическая коррозия может быть *газовой и жидкой*, однако в обоих случаях отсутствуют электролиты.

При электрохимической коррозии коррозионные процессы протекают в водных растворах электролитов, во влажных газах, в расплавленных солях и щелочах. Характерным является возникновение электрических токов как результата коррозионного процесса, при этом в арматуре и закладных деталях одновременно протекают окислительный и восстановительный процессы.

Механическая коррозия (деструкция) имеет место в материалах неорганического происхождения (цементный камень, растворная составляющая бетона, заполнитель) и вызывается напряжениями внутри материала, достигающими предела его прочности на растяжение.

Внутренние напряжения в пористой структуре материала возникают вследствие разных причин, среди которых кристаллизация солей, отложение продуктов коррозии, давление льда при замерзании воды в порах и капиллярах. В композиционных материалах, характерным представителем которых является бетон, внутренние напряжения в зоне контакта заполнитель – цементный камень возникают при резких сменах температур в результате разных коэффициентов линейно-температурного расширения.

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 не агрессивна к бетону, но агрессивна к стальной арматуре, то, проникая через поры и трещины защитного слоя, она вызывает коррозию стальной арматуры.

3.3.1 Коррозия бетона

Различаются три вида физико-химической коррозии бетона.

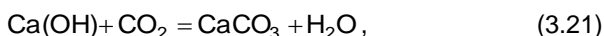
Коррозия I вида. Вызывается фильтрацией сквозь толщу бетона мягкой воды, вымывающей его составные части, в частности, гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – гашеную известь. Этот процесс называется выщелачиванием извести и весьма опасен для бетона, поскольку известь является составляющей почти 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 из-

вести) 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. 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 цементах 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.

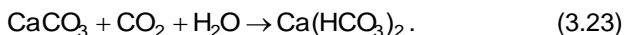
Кислотная коррозия цементного камня обусловлена химическим взаимодействием гидрата окиси кальция с кислотами.

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:

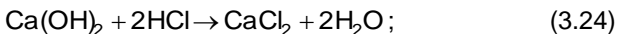


Дальнейший процесс взаимодействия диоксида углерода и бетона идет с образованием растворимого гидрокарбоната кальция:



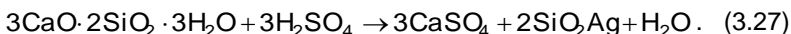
Сильной коррозионной активностью обладают серная, соляная, азотная кислоты. Под действием кислот цементный камень разлагается, образуя кальциевую соль и аморфные массы.

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



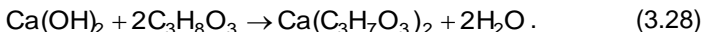
в результате чего Ca(OH)_2 разрушается.

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 фильтра в окружающую водную среду. Скорость коррозии возрастает с увеличением концентрации кислоты и скорости фильтрации. Но скорость коррозии отстает от скорости фильтрации вследствие защиты бетона продуктами коррозии, а также более медленной коррозии негидратированных зерен цемента, чем гидрата окиси кальция.

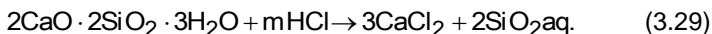
Следует отметить, что при концентрации растворов кислот выше 0,0001N, практически все цементные бетоны, за исключением кислотоупорных, быстро разрушаются. Однако при этом более стойкими оказываются бетоны плотной структуры на портландцементе.

При воздействии кислот более стойким оказывается портландцемент и менее стойким – пуццолановый портландцемент. Меньшая стойкость пуццолановых портландцементов по сравнению с портландцементом объясняется более полной гидратацией зерен клинкера и снижением количества свободного гидрата окиси кальция вследствие поглощения его добавками или образования гидросиликатов либо гидроалюминатов кальция.

Повышенная степень гидратации цементов, содержащих гидрофобные добавки, способствует ускорению коррозии этих цементов по сравнению с портландцементом.

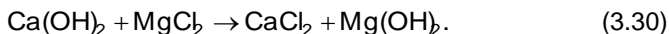
Стойкость бетонов в кислотной среде также зависит от вида заполнителей. Менее подвержены разрушению заполнители силикатных пород (гранит, сиенит, базальт, песчаник, кварцит).

Не уступают по агрессивности в отношении к бетонным и железобетонным конструкциям растворы некоторых солей, образованных катионами слабого основания и анионами сильной кислоты: сульфаты алюминия $Al_2(SO_4)_3$, хлорид железа $FeCl_3$, сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ и др. Взаимодействуя с водой, они образуют сильные кислоты, разлагающие материал на кальциевую соль и аморфные массы:



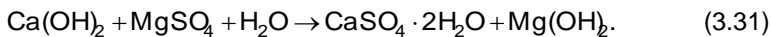
Магнезиальная коррозия вызывается действием на бетонные конструкции растворов магнезиальных солей ($MgSO_4$ и $MgCl_2$).

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 магниезольных 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 магниезольными солями образуется малорастворимый гидроксид магния, что создает условия для растворения и гидролиза гидратных образований в цементном камне. Наиболее интенсивно магниезольная 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 полуторные окислы), что и вызывает разрушение бетона. Более стойкими к щелочной коррозии являются бетоны на портландцементе и заполнителях карбонатных пород.

Растворы щелочей (NaOH) по-разному влияют на бетон, поскольку 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 полуторные окислы, в результате чего бетон разрушается. При действии щелочей на цемент образуются щелочноземельные силикаты и алюминаты. Чем выше концентрация щелочного раствора, тем больше скорость коррозии. В растворах щелочей при концентрации до 5 % стойкость портландцемента, пуццоланового портландцемента и шлакопортландцемента 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, кольматируют (заполняют) пустоты в бетоне] и, как следствие, увеличивается его прочность. Однако в последующем продукты кристаллизации настолько увеличиваются в объеме (возникают такие растягивающие усилия в стенках пор и капилляров), что начинают рвать структурные связи, приводя к интенсивному трещинообразованию и многочисленным локальным разрушениям бетона. Конструкции теряют свою прочность. Поэтому оценка степени опасности коррозии III вида только по величине прочности бетона, особенно на начальной стадии, может ввести в заблуждение.

Кристаллизационное разрушение конструкций при пористом бетоне и сильноагрессивной среде может наступить быстро – через недели или месяцы, а при первоначально плотном бетоне – через несколько лет.

Если при коррозии I и II видов бетон разрушается вследствие медленного или ускоренного механического разрушения либо химического растворения и вымывания водой составных частей цементного камня, то ве-

дущим 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:

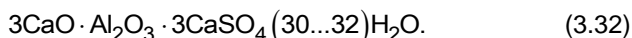
- повышению растворимости составных частей цементного камня и, таким образом, форсированию коррозии I вида;

- 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, 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 пуццолановом портландцементе основная масса цементного камня состоит из некристаллизованного вещества – геля – и количество свободного гид-

рата 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. Таким образом, 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:



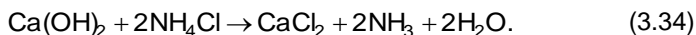
Нитрат кальция хорошо растворим в воде, поэтому при доступе влаги свободная известь может быстро удаляться из бетона. Если влажность бетона невелика, то в нем могут возникнуть деформации расширения, так как образование $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ сопровождается увеличением объема.

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

Сульфат аммония в воде тоже имеет кислую реакцию вследствие гидролиза. Он взаимодействует с гидроксидом кальция цементного камня, образуя гипс. Серная кислота, обычно имеющаяся в сульфате аммония, приводит к образованию гипса, а иногда и к разложению силикатов и алюминатов кальция.

Гидросульфоалюминат 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 монокальциевого 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 монокальциевый фосфат и фосфорная кислота (эти соединения хорошо растворимы в воде) реагируют с гидроксидом кальция цементного камня следующим образом:



Монокальциевый фосфат, взаимодействуя с известью, тоже переходит в двузамещенный фосфат кальция $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, обладающий малой растворимостью. Это соединение в среде, богатой ионами кальция, может переходить в более основные фосфаты кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, которые в воде практически нерастворимы.

Следовательно, при воздействии указанных соединений фосфора на бетон в его поверхностном слое появляются новые соединения; они не обладают вяжущими свойствами и разрушают бетон, но в результате нерастворимости их в воде дальнейшее развитие процесса тормозится. Поэтому монокальциевый фосфат и фосфорная кислота оказывают на бетон более слабое агрессивное воздействие, чем содержащийся в суперфосфате гипс.

Двойной суперфосфат – это высококонцентрированное фосфорное удобрение. От простого суперфосфата он отличается главным образом тем, что почти не содержит гипса. Фосфор находится в нем в виде тех же соединений, что и в простом суперфосфате. Двойной суперфосфат не

вызывает сульфатной коррозии бетона и поэтому менее агрессивен, чем простой суперфосфат.

Вредное влияние на бетон обычно усиливается при воздействии сложных минеральных удобрений. Так, *аммонизированный суперфосфат*, содержащий сульфат аммония и гипс, вызывает сильную сульфатную коррозию бетона. Нитрофоска разрушает бетон, потому что в ней наряду с $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ содержится KNO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (или NH_4Cl).

3.3.2 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 3.12). Сразу после изготовления под влиянием щелочной среды цементного бетона (pH = 12,5...12,6) стальная арматура пассивируется, т. е. защищается от окисления. Пассивное состояние арматуры сохраняется, пока не произойдет снижение pH поровой влаги бетона ниже некоторого предела ($\approx 11,8$), либо содержание в ней ионов-активаторов, в частности хлорид-ионов, не превысит некоторого критического значения (0,1–0,4 % по массе цемента).



Рисунок 3.12 – 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 бесцементных или малоцементных вяжущих (например, автоклавного твердения). Хлориды могут присутствовать в составе вяжущего, заполнителей и воды затворения, а также добавок-ускорителей твердения и противо-

розных. 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которые образуются 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 способствуют 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 образова-

нию 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 рН 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 у анода.

Состояние общей коррозии. Общая коррозия наблюдается как результат карбонизации или наличия в бетоне большого количества хлоридов, когда образуется множество близко расположенных питтингов. Поверхность превращается в смешанный электрод, где невозможно различить анодные и катодные участки. Разница в рН 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 конструкции в таких условиях не столь велики, как при питтинговой коррозии.

Протекание процесса коррозии, вызванной карбонизацией, отличается от хлоридной. Карбонизированный бетон обычно имеет значительную проницаемость и невысокую влажность. Поэтому коррозия арматуры в нем контролируется относительно высоким сопротивлением и недостатком влаги больше, чем диффузией кислорода. Скорость коррозии опре-

деляется 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 воздействие. К ним относятся растворы кислот, щелочей, солей, влажные газы, природные и промышленные воды, а также блуждающие токи.

В кислотах, не обладающих окислительными свойствами (соляная кислота), стальная арматура сильно корродирует в результате образования растворимых в воде и кислоте продуктов коррозии, причем с увеличением концентрации соляной кислоты скорость коррозии возрастает.

В кислотах, обладающих окислительными свойствами (азотная, серная и др.), при высоких концентрациях скорость коррозии, наоборот, уменьшается из-за пассивации поверхности арматуры.

Скорость коррозии арматуры в щелочных растворах при $\text{pH} > 10$ резко снижается из-за образования нерастворимых гидратов закиси железа. Растворы едких щелочей и карбонаты щелочных металлов практически не разрушают арматуру, если их концентрация не превышает 40 %.

Солевая коррозия арматуры зависит от природы анионов и катионов, содержащихся в водных растворах солей.

Хлористые, 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 стальной 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 неактивирующем бетоне. В тех случаях, когда площадь катодных участков превышает площадь анодных, на арматуре появляются отдельные пятна –

язвы. Язвенная коррозия арматуры образуется при неравномерном проникновении в бетон хлоридов, разрушающих пассивирующую пленку на поверхности арматуры. Более опасна язвенная коррозия арматуры, так как при ней местное уменьшение сечения арматуры происходит значительно быстрее.

Особенно опасна язвенная коррозия арматуры в предварительно напряженных конструкциях, где для армирования бетона используют высокопрочную проволоку. Вследствие малого поперечного сечения и высокого уровня напряжения проволоки от язвенных поражений могут происходить ее разрывы.

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях присутствует особый вид коррозии арматуры – **коррозия под напряжением**. Она проявляется в виде трещин, развивающихся перпендикулярно направлению главных растягивающих напряжений, т. е. поперек элемента.

Напряженная арматура электрохимически является более активной, чем ненапряженная, и, следовательно, может более интенсивно корродировать. При этом общая коррозия напряженного металла может идти быстрее, чем ненапряженного. Считается, что влияние напряжений ниже предела текучести на коррозию стали незначительно, так как при этом электрохимическое состояние поверхности не изменяется (смещение потенциала составляет 2–3 мВ). Заметное влияние напряжений на уровне предела текучести и выше связано с разрушением естественных защитных оксидных пленок и существенным разблагораживанием поверхности стали.

Под влиянием напряжения, составляющего 70 % предела текучести прочности стали, электродный потенциал арматуры в насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 3%-м растворе 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 кор-

розионному 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 отпуском.

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 обыч-

но 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 23ХГ2Т) – 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 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 гликозидными связями.

Гемиллюлозы – 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 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 3.8 приведен средний химический состав (в процентах) древесины различных пород, произрастающих в Беларуси.

Таблица 3.8 – 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 3.8 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 танидов (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.

3.4.1 Воздействие на древесину различных факторов внешней среды

Растворители. Воздействуя на древесину растворителями, из нее извлекают экстрактивные вещества: смолы, камеди, дубильные вещества. При экстракции древесины растворителями строение и состав ее клеточных стенок не претерпевают существенных изменений, поэтому физико-механические свойства остаются практически неизменными. Такую древесину можно использовать для дальнейшей переработки так же, как и натуральную.

Кислоты. Хвойные породы древесины достаточно стойки по отношению к действию разбавленных растворов уксусной, фосфорной, молочной, масляной и плавиковой кислот. Соляная кислота концентрацией до 10 % и серная кислота концентрацией не более 5 % практически не изменяют их структуру и физико-химическое строение. Концентрированные кислоты разрушают деревянные конструкции, особенно интенсивно – кислородсодержащие (азотная, серная, хромовая и др.). Интенсивность разрушительного действия увеличивается с повышением температуры кислот.

Кислоты оказывают на полисахариды древесины гидролизующее действие. При гидролизе древесины образуются соответствующие простые сахара – моносахариды (из целлюлозы – глюкоза, из ксилана – ксилоза и т. д.), вследствие чего процесс кислотного гидролиза древесины часто называют *осахариванием*; лигнин остается при этом в виде нерастворимого остатка. Концентрированные кислоты осахаривают древесину

без нагревания; при этом полисахариды набухают и быстро растворяются в кислоте.

Щелочи. Растворы едких щелочей разрушают древесину менее интенсивно, чем кислоты. Слабые растворы щелочей позволяют извлекать из древесины смолистые вещества и могут взаимодействовать с лигнином и гемицеллюлозами. Концентрированные щелочи действуют на древесину значительно сильнее, особенно при длительном нагревании под давлением. В последнем случае древесина практически полностью растворяется в щелочах с образованием органических кислот (уксусной и муравьиной), газов и смолы.

Влага. От влажности древесины зависят ее прочность и долговечность, а также масса изготовленных из нее изделий. Например, 1 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. 4.1.2 и 4.1.3.

3.5 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 терми-

ческой и радиационной составом продуктов распада: отсутствием газообразных веществ – осколков цепей макромолекул.

Биологическая деструкция, как правило, вызывается плесневыми грибами. Пигменты, выделяющиеся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, окрашивают материал в различные цвета. Плесень вызывает конденсацию на поверхности конструкции влаги, минерализованной растворенными в ней газами и частицами пыли, которые содержатся в воздухе. Биокоррозия полимерных материалов рассмотрена в подразд. 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 деструкции, но и сшивания (агрегирования) макромолекул. Нередко деструкция и агрегирование происходят одновременно.

Как известно, полимеры получают полимеризацией (последовательным соединением) большого числа молекул низкомолекулярного вещества (мономера) к активному центру, находящемуся на конце растущей цепи. По числу мономеров различают гомополимеризацию (один мономер) и сополимеризацию (не менее двух мономеров). Существуют две конфигурации макромолекул: линейная и глобулярная.

По отношению к химически агрессивным средам полимеры подразделяются на гетероцепные (в основной цепи молекулы содержатся кислород, азот, сера и др.) и карбоцепные (образованные только атомами углерода). *Гетероцепные* полимеры (полиамиды, тиоколы, силоксаны, полиэферы и др.) сравнительно легко распадаются под действием горячей воды, кислот и щелочей.

Карбоцепные полимеры (в целом более стойкие к агрессивным средам) по коррозионной стойкости подразделяются на три группы:

– полученные из предельных углеводородов, среднестойкие по отношению к агрессивным средам (полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен и др.);

– синтезированные из предельных углеводородов с заместителями и элементами структуры, увеличивающими стойкость к агрессивным средам; в качестве заместителей часто применяют фтор (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 внешнего вида, а также эксплуатационных свойств (физико-механических, диэлектрических и др.). В большинстве случаев эти изменения носят необратимый характер, приводя к старению полимеров. Количественный критерий атмосферостойкости – соотношение значений некоторой выбранной характеристики материала (прочность, относительное удлинение, жесткость, диэлектрические свойства, время до появления трещин или до разрыва) до и после экспозиции.

Различают следующие виды разрушений полимерных покрытий: потеря блеска, изменение цвета, меление, растрескивание, отслаивание, пузыри и сыпь, а также разрушение покрытия вследствие коррозии металла.

Ввиду существенного влияния механических напряжений на процессы старения атмосферостойкость напряженных и ненапряженных полимерных материалов различна. Это особенно характерно для резин, которые в растянутом состоянии под действием атмосферного озона покрываются трещинами, ориентированными перпендикулярно к направлению действующей силы.

Атмосферостойкость полимерных материалов, используемых в виде волокон и пленок, определяется в основном их устойчивостью к фотохимическому воздействию солнечной радиации, которая ускоряет окислительные процессы. Атмосферостойкость массивных ненапряженных и непрозрачных для света полимерных материалов определяется их сопротивляемостью тепловому старению.

У поверхности Земли на атмосферостойкость полимерных материалов наиболее активно влияет ультрафиолетовая часть солнечного спектра с длиной волны 0,29–0,35 мкм. При большей длине волны разрушение может произойти только при одновременном действии химических агентов (например, кислорода), что практически и происходит. Относительная интенсивность излучения для отдельных областей солнечного спектра изменяется в довольно широких пределах в зависимости от высоты стояния солнца и условий поглощения света в атмосфере. Распределение энергии солнечного излучения в течение года также не остается постоянным.

Рассмотрим влияние различных факторов на атмосферостойкость.

При повышении температуры окружающей среды ускоряются как окислительные процессы, так и улетучивание пластификаторов, противостарителей и т. д., что приводит к изменению исходных свойств, в частности, к росту жесткости и хрупкости полимерных материалов.

Сильное охлаждение полимерных материалов, находящихся в соприкосновении с другими материалами (например, полимерные покрытия на металлах, резинометаллические изделия), вызывает их растрескивание или отслаивание из-за разности температурных коэффициентов линейного расширения металла и полимера. Наличие в воздухе влаги отрицательно сказывается на атмосферостойкости гидролизующихся полимеров (целлюлозы, полиамидов); в то же время влага несколько улучшает сопротивляемость озонному растрескиванию резин, сорбирующих воду (натуральный и хлоропреновый каучуки). В реальных атмосферных условиях рассмотренные факторы действуют, как правило, все одновременно или в различных сочетаниях.

Наряду с природой самого полимера на атмосферостойкость существенно влияют различные примеси и ингредиенты. Некоторые из таких веществ (например, катализаторы полимеризации, отбеливающие вещества, соли железа, диоксид титана, применяемый для матирования волокон) могут существенно ухудшать атмосферостойкость, сенсibiliзируя фотоокислительные процессы.

3.5.1 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 O₂ 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 ($\lambda = 300...340$ нм). На образцах, которые находятся под светофильтром, поглощающим УФ-излучение, после 1000 ч не замечено трещин, не обнаружено изменений химической структуры материала. Трещины наблюдались через 700 ч испытаний только на покрытиях, находившихся под светофильтром УФС-2. При фотолизе ПКА-покрытий происходит изменение кристаллической фазы материала.

Оценивая свойства ПКА, необходимо отметить его низкую стойкость к комплексу климатических факторов независимо от климатической зоны эксплуатации.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) считается устойчивым к воздействию атмосферных факторов, в связи с чем применение его чрезвычайно разнообразно: в авиа-, автомобиле-, судостроении, в промышленном и гражданском строительстве и т. д. Максимальное снижение прочности при растяжении и статическом изгибе, а также ударной вязкости органического стекла марок СОЛ и СТ-1 после 10 лет атмосферного старения составляет менее 20 %. При этом приблизительно на 6,5 % уменьшается светопрозрачность материала, который приобретает желтый оттенок.

В условиях хранения на 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 позволя-

ют 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.

3.5.2 Старение других полимерных материалов

По стойкости полипропилен несколько уступает полиэтилену. Однако стабилизированный полипропилен вполне пригоден для эксплуатации. По сравнению с другими материалами поливинилхлорид более устойчив к действию сред, но не морозостоек. В помещениях поливинилхлоридные материалы применяют для устройства полов и отделки конструкций. Наиболее перспективны поливинилфторид, фторированный сополимер этилена с пропиленом, хлорсульфированный полиэтилен, полиметилметакрилат и полиформальдегид.

Поливинилфторид даже без стабилизаторов обладает высокой атмосферостойкостью, которая обусловлена прочной химической связью «углерод – фтор». Этот материал практически не стареет под действием ультрафиолетовых лучей. Ограниченное применение материала обусловлено его высокой стоимостью. Фторированная этиленпропиленовая пленка в атмосферных условиях также не стареет и обладает достаточно высокой долговечностью. Примерно такая же долговечность у хлорсульфированного полиэтилена.

В машиностроении широко применяют **древесно-полимерные композиты** на основе фенолоформальдегидных смол.

В **древопластиках** при воздействии атмосферных факторов происходят процессы структурирования полимера, выполняющего роль связующего, которые обуславливают возникновение микро- и макротрещин в композитном материале. Излучение солнечного спектра ускоряет дополнительную структурную перестройку, вследствие чего сокращается интервал времени, необходимый для снижения механических свойств материала.

По стойкости к воздействию атмосферных условий в средней части Европы смолы можно расположить в следующем порядке: фенольные, дициандиамидные, 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.

3.6 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 высокомолекулярных смол и приса-

док, 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 3.13 приведена кривая изменения относительной прочности на сжатие образцов бетона нормальной плотности при хранении их погруженными в смазочные масла.

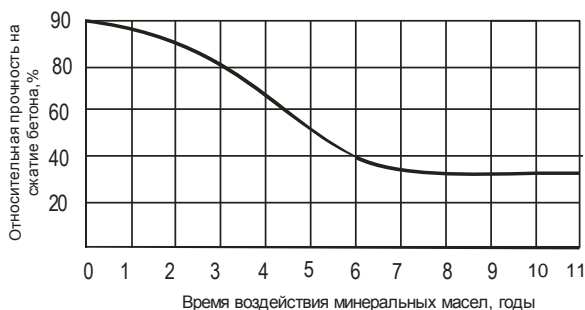


Рисунок 3.13 – Зависимость прочности бетона на сжатие от времени воздействия минеральных масел

Из графика (рисунок 3.13) 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, тем быстрее идет пропитка его нефтепродуктами и снижение прочности бетона, сцепления его с арматурой и несущей способности железобетонной конструкции.

Деформация ползучести бетона, пропитанного нефтепродуктами (смазочные масла, мазут, дизельное топливо), под действием длительной нагрузки при напряжениях $0,4-0,5 f_{cm}$ меньше деформации непропитанного бетона в 4 раза и более. После удаления из бетона пропитывающих его нефтепродуктов деформации ползучести увеличиваются иногда до начальных, а прочность бетона восстанавливается лишь частично.

При пропитывании бетона минеральными маслами, дизельным топливом и мазутом снижение сцепления бетона с арматурой происходит значительно быстрее, чем снижение прочности бетона. На рисунке 3.14 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 про-

питке бетона нефтепродуктами (за исключением масляных эмульсий) не происходит, вследствие чего не происходит снижения фильтрации бетона во времени.

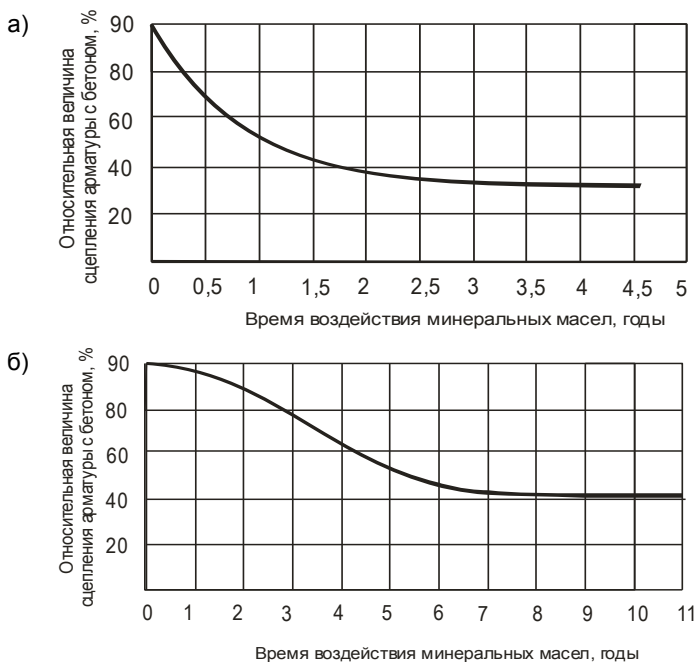


Рисунок 3.14 – Зависимость сцепления арматуры с бетоном от времени воздействия минеральных масел: а – гладкого профиля; б – периодического профиля

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.

4 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 био-сфере. 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.

Биокоррозию исследуют во всем мире [35–41].

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 агрессив-

ных 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, 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 по-

вреждениям подвергаются не только естественные, но и синтетические строительные материалы. Некоторые микроорганизмы, например мицелиальные грибки, не в состоянии сразу проникнуть в плотную и пористую структуру цементных компонентов. Однако в условиях экологически загрязненной среды отмечена их значительная обрастаемость грибами.

Биоповреждения, вызванные различными микроорганизмами, значительно ухудшают не только товарный вид, но и физико-механические свойства материалов, а также негативно влияют на микроклимат в помещениях.

Специалисты насчитывают в природе более 100 тыс. видов грибов. Можно наметить две группы грибов, вызывающих биоповреждения. Первая – неспецифичные почвенные сапротрофы. Из них чаще всего встречаются виды родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *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, силовых нагрузок – напряженного состояния материала конструкций). При благоприятных условиях микроорганизмы могут за несколько месяцев, даже недель, частично или полностью изменить внешний вид, механические и другие свойства строительных материалов и конструкций.

Выделяют два вида биокоррозии: анаэробную, которая протекает без доступа кислорода, т. е. в восстановительных условиях, и аэробную (в присутствии кислорода). Тионовые бактерии в аэробных условиях могут вызывать коррозию подземных сооружений. Железобактерии нередко выводят из строя систему стальных дренажных труб, закупоривая отверстия микробными клетками и образующимися оксидами железа. Сульфатовосстанавливающие бактерии корродируют металлические конструкции в сырых помещениях.

Принято считать, что основную роль в разрушении строительных минеральных материалов играют автотрофные бактерии, которые способны получать необходимую энергию при окислении или восстановлении таких элементов и соединений, как сера, азот, железо, различные органические кислоты.

Основные типы бактерий и условия их жизнедеятельности представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные типы бактерий и условия их жизнедеятельности

Группа и тип микроорганизмов	Соединения	Продукт восстановления или окисления	Условия жизнедеятельности			
			рН		температура, °С	
			оптимальный	допустимый	оптимальная	допустимая
Сульфато-окисляющие анаэробные	Сульфаты, тиосульфаты, сульфиты, сера, гипосульфит	Сероводород	6–7,5	5–9	25–35	55–65
Сероокисляющие аэробные	Сера, сульфиты, тиосульфаты	Серная кислота	2–4	5–9	28–30	18–37
Тиосульфато-окисляющие аэробные	Тиосульфаты, сера	Тиосульфат – до серы, сера – до сульфата	7	7–9	30	–
Железобактерии аэробные	Карбонат и бикарбонат железа, бикарбонат марганца	Гидроокись железа	4–10	–	24	5–40
Микроаэрофильные	Сера	Тиосульфат	7–9	5–10	30	–

Между биологическим, химическим и механическим факторами, несомненно, существует тесная взаимосвязь. Трещины, появляющиеся в результате температурных напряжений и выветривания, облегчают химические процессы между каменным материалом и продуктами жизне-

деятельности микроорганизмов. В свою очередь, биологические повреждения камня делают его более восприимчивым к действию химических и механических факторов и тем самым увеличивают интенсивность разрушений. Кроме того, грибы и лишайники, растущие на каменных материалах, способствуют задержанию пыли и грязи, источники которых весьма разнообразны.

Анализ и обобщение накопленного опыта позволили выдвинуть эколого-технологическую концепцию биоповреждений, согласно которой биоповреждения рассматриваются как реакция окружающей среды, биосферы на то новое, что вносит в нее деятельность человека. Строительные материалы и изделия, подвергаемые «нападению» микроорганизмов, рассматриваются как составная часть естественных биоценозов, вовлекаемых в общий круговорот веществ. Эколого-технологической эта проблема названа потому, что в биодеструктивном процессе всегда взаимодействуют два начала: с одной стороны, живой организм (или его сообщество), с другой – абиотический компонент, т. е. строительные материалы, изделия и конструкции.

В настоящее время трудно найти группу материалов, на которую живые организмы не оказывают разрушающего воздействия или, по меньшей мере, не изменяют их свойства и внешний вид.

Биомониторинг состояния ряда инженерных сооружений позволил выявить основные формы биоразрушения строительных материалов и конструкций:

- поверхностные корки на бетонных конструкциях и штукатурке, образованные продуктами химической коррозии и микроорганизмами; отслаивание таких корок сопровождается осыпанием материала и потерей прочности конструкций;

- поверхностные налеты и наслоение различной плотности и окраски (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, промоины);

- 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 микроор-

ганизмов или их метаболитов; набухание резины, потеря адгезии лакокрасочных покрытий;

- ухудшение электрофизических свойств, например снижение электроизоляционных свойств материалов;

- изменение оптических свойств, например опалесценция, и потеря прозрачности стекол оптических приборов, протравленных метаболитами грибов;

- изменение химических свойств материалов в результате окисления или гидролиза пластификаторов в пластиках, целлюлозы в древесине;

- изменение органолептических свойств, например появление дурного запаха при гниении смазочно-охлаждающих жидкостей или других материалов, появление слизи на твердых поверхностях и т. п.

Основные причины биоповреждений зданий и сооружений:

- повышенная влажность строительных материалов;

- наличие в составе строительных материалов веществ (прежде всего органических), являющихся питательной средой для биодеструкторов;

- высокая запыленность наружного воздуха и воздуха внутри помещений;

- загрязнение атмосферы газами: 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 температу-

ры 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 4.2.

Таблица 4.2 – Определение степени биоповреждений 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 степеней подвержено более 50–60 % строительных конструкций здания или сооружения	
<i>Примечание</i> – Гипсокартон не имеет II степени повреждения.		

4.1 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.

4.1.1 Биокоррозия под действием бактерий

Биокоррозию металлов могут вызывать различные роды бактерий.

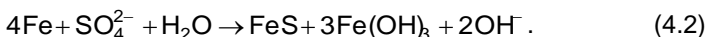
В США ежегодно бактерии разрушают подземные трубы на 2 млрд дол. На «совести» бактерий 77 % ущерба от коррозии нефтяного оборудования. Анализ причин отказов нефтепроводов в Западной Сибири показал,

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 *Thiobacillus*, 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 стебелёк, 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 продырявливается 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.

4.1.2 Биокоррозия под действием микроскопических грибов

Метаболиты многих микроскопических грибов вызывают коррозию черных и цветных металлов. Биокоррозия под действием грибов характерна для атмосферных и почвенных условий. В местах с ограниченным воздухообменом, где создаются благоприятные для развития грибов температурно-влажностные условия, попавшие на поверхность металла вместе с загрязнениями споры грибов могут вызвать коррозию металлов. Выросшие на загрязненных поверхностях мицелии грибов способны в дальнейшем удерживать влагу даже при снижении относительной влажности окружающего воздуха до 60 % и ниже. Местное повышение влажности в присутствии мицелия создает дополнительные благоприятные условия для развития коррозии. Наиболее опасными в отношении биокоррозии металлов климатическими зонами являются зоны влажного тропического и субтропического климата. В зонах умеренного климата грибы вызывают коррозию в тех случаях, где нарушаются условия хранения или эксплуатации техники. Типичными представителями грибов, вызывающих биокоррозию в различных климатических зонах, являются грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium* и др. В естественных микоценозах могут встречаться и доминировать наряду с указанными грибами и другие. Поскольку грибы – гетеротрофы, то на поверхности чистого, незагрязненного металла, не имеющего контакта с органическими материалами, например смазками, полимерными пленками, красками и др., они не могут развиваться. Биокоррозия металлов под действием грибов носит в связи с этим как бы «вторичный характер».

Вначале грибы поселяются и развиваются на органических материалах, контактирующих с металлом, а затем мицелий, распространяясь на металл, вызывает коррозию своими метаболитами-кислотами, ферментами. Биокоррозия отмечалась на незащищенных смазками или неокрашенных металлических деталях, резьбовых соединениях, электрических контактах и т. п. Такие поражения характерны для радиоэлектронных и оптических приборов (телевизоры, стереотрубы, микроскопы). Образование мицелия на поверхности электрических контактов приборов в ряде случаев вызывало нарушение работы всего прибора вследствие замыкания электрической цепи или размыкания из-за нароста продуктов коррозии на поверхностях.

4.2 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 рН среды таким образом, что создают оптимальную для своего развития кислотность среды. Для большинства изученных проб значения рН находились в пределах от 4,8 до 5,4 (кислая среда). Поскольку в толще основного строительного материала – бетона – среда в норме всегда щелочная (рН 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 углекислота совместно с углекислотой 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.

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, особенно в сточных водах кожевенных заводов, заводов по производству безалкогольных напитков и ряда других производств пищевой промышленности. При переходе от напорных участков трубопровода к самотечным в местах с турбулентным потоком растворенный сероводород выделяется в воздух. Далее он растворяется в пленке конденсата на поверхности конструкций и здесь, в условиях достаточной аэрации, превращается тионовыми бактериями в серную кислоту. В зависимости от концентрации сероводорода, которая в канализационных сооружениях составляет от единиц до сотен миллиграммов на кубометр воздуха, образуется кислота различной концентрации. В наиболее опасных участках концентрация серной кислоты достигает 5 %, а 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 *Tyjo Conacetivorus*, 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 сахароза, мальтоза, глюкоза, фруктоза. Глюкозиды весьма агрессивны в отношении цементных бетонов.

На предприятиях *кондитерского производства* специалисты отмечают сильное разрушение всех строительных конструкций на основе минеральных вяжущих компонентов. Керамические и чугунные плитки не защищают, а лишь немного удлиняют срок службы таких бетонов. Поскольку эти плитки укладываются на цементно-песчаные растворы, а последние разрушаются агрессивными средами кондитерского производства, такое покрытие недолговечно.

При этом следует отметить, что самыми агрессивными средами показали себя карамельная и мармеладная массы, яблочное пюре и сахарные сиропы (за счет образования легкорастворимых солей металлов, входящих в состав цемента).

Железобетонные емкости *винодельческой промышленности* должны обладать высокой химической стойкостью к действию винопродуктов, органических кислот, спиртов, эфиров, дубильных и красящих веществ, моющих и дезинфицирующих средств; непроницаемостью и водостойкостью; высокой механической прочностью; гладкой поверхностью, предотвращающей скопление и развитие в неровностях микроорганизмов. Столь разнообразные требования осложняют применение железобетонных резервуаров без специальных защитных покрытий вследствие их малой коррозионной стойкости.

4.3 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 (микроспоровиков), 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 микроспоровиков и других микроорганизмов на материалы памятников связано с выделением в окружающую среду различных химических соединений, обладающих высокой агрессивностью в отношении каменного субстрата и катализирующих де-

структивные 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.

4.4 Полимерные материалы

В последние годы в связи с интенсивным внедрением в промышленность синтетических полимерных материалов всё 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, расчленяя 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 ухудше-

нию внешнего вида материала, но и нарушают его механические свойства.

4.5 Лакокрасочные материалы

Воздействию биокоррозии подвержен также значительный спектр лакокрасочных изделий. Краски, содержащие льняное масло, краски на основе алкидных смол, полиуретанов, а также эмульсионные краски могут поражаться микроорганизмами.

Поверхности стен и потолков зданий и сооружений, подлежащие окраске или уже окрашенные, поражаются плесневыми и деревоокрашивающими грибами. Например, при эксплуатации зданий с оконными блоками, обладающими повышенной теплоизоляционной способностью, из-за отсутствия надлежащей вентиляции помещений на холодных поверхностях стен и потолков образуется конденсат. На увлажненных окрашенных поверхностях стен и потолков развиваются плесневые грибы. При этом окраска стен теряет однотонность, появляются черные и коричневые пятна, а в некоторых случаях происходит отслоение краски от поверхности стены или потолка. В некоторых помещениях всегда существуют благоприятные условия для развития грибов. В этих зданиях и помещениях поражению грибами подвергаются не только строительные конструкции, но и краска на их поверхности. Поражение может быть как прямым, так и косвенным. Установлено, что грибы синей гнили могут поражать пленку, развиваясь под ней.

4.6 Ковровые материалы

В последние годы в строительстве весьма широко применяют ковровые материалы для покрытия полов. Они также очень часто подвергаются биокоррозии.

Для изготовления ковровых материалов пригодны растительные волокна (хлопковое, джутовое, сизалевое, кокосовое), шерсть, искусственные волокна (ацетат целлюлозы и др.), синтетические волокна, комбинации волокон различных видов.

Наиболее распространенными биологическими вредителями шерстяных ковровых материалов для покрытия полов являются моли, например, платяная моль *Tineola 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.

4.7 Древесина

Древесина имеет клеточное строение и состоит из сложных химических и механических соединений. В основном это целлюлоза (с гемицеллюлозой) и лигнин, образующие стенки клеток, а также содержимое клеток: смолы, воск, жиры, минералы и др. Целлюлоза ($C_6H_{10}O_5 \cdot x$) имеет волокнистое строение, а лигнин (приближенная формула $C_{57}H_{60}O_{10}$) представляет собой аморфное вещество. Количество их в древесине варьирует в зависимости от породы дерева. Так, 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, *Ceratostomella pilifera*, вызывающая синеву древесины, *Aspergillus glaums*, по-

крявающий поверхность древесины зеленоватой плесенью, и др. Механическая прочность древесины под воздействием этих грибов практически не снижается.

Результаты исследования древесины, подверженной гниению, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – 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.

4.7.1 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 количе-

ства 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 lacrymans* вызывает так называемую мокрую гниль древесины. Таким образом, если древесина содержит некоторое количество свободной влаги и находится в условиях, исключающих ее высыхание, то возможно прорастание спор или оживление грибницы, присутствующей в древесине, причем в дальнейшем разложение распространится и усилится в результате биологического самоувлажнения древесины.

Необходимую энергию грибы получают в процессе аэробного дыхания, т. е. для их жизнедеятельности необходимо определенное количество кислорода в окружающей среде.

Потребность в кислороде у грибов различна. Так, грибница *Merulius lacrymans* при отсутствии кислорода в течение 2 дней отмирает. Однако некоторые грибы, например *Stereum hirsutum*, *St. frustulosum* и др., могут длительно развиваться при низком содержании кислорода. Грибы-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 %). Исключения 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 *Rhizoglyphus acheruntius*. Однако *Rhizoglyphus 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 °С большинство грибов не растет и не разрушает древесину, при температурах от 3 до 10 °С гниение протекает очень медленно. По мере повышения температуры скорость роста гриба и разложения древесины достигает максимума, после которого начинает снова снижаться.

Каждый гриб имеет характерную кривую с оптимальной температурой, соответствующей скорости роста, минимальной и максимальной, при которых рост гриба замедляется и прекращается. Оптимальная температура роста соответствует с небольшими отклонениями и максимальной скорости разложения древесины, вызываемой данным видом гриба.

В зависимости от оптимальной температуры роста иногда грибы искусственно делят на несколько групп.

1 Грибы, успешно развивающиеся при низкой температуре (20–24 °С), например *Merulius lacrymans*, *Coniophora cerebella*, *Paxillus acheruntius*, *Fomes annosus*, *Corticium laeve*, *Phellinus pini* и др .

2 Грибы, для которых желательны средние температуры (24–32 °С), например *Poria vaporaria*, *Lentinus lepideus*, *Peniophora gigantea*, *Trametes serialis*, *Tr. versicolor*, *Stereum frustulosum*, *Phellinus igniarius* и др.

3 Грибы, хорошо развивающиеся при высокой температуре (выше 32 °С), например *Lenzites sepiaria*, *Ganoderma lucidum* и др.

В большинстве случаев наблюдается, что грибы, имеющие более низкую температуру-оптимум, обычно трудно переносят дальнейшее повышение температуры, в отличие от грибов с высоким температурным оптимумом. Однако на скорости разложения древесины снижение температуры меньше сказывается при поражении древесины грибами, имеющими оптимум в пределах низких температур, чем при поражении грибами, имеющими оптимум в пределах высоких температур.

Дереворазрушающие грибы по-разному приспособляются к колебаниям температур. Этим в значительной степени определяется распространенность того или иного из них, например, домовых грибов 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 varogaria* – 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 жизнедеятельности грибов отражается присутствие соединений натрия, магния, фосфора, калия, кальция и целого ряда других веществ в микродозах. Витамины и стимуляторы роста являются важной составной частью питания грибов, особенно грибов-паразитов. Одной из причин гибели этих грибов после рубки дерева является прекращение притока витаминов и стимуляторов роста.

Грибы, поражающие древесину, можно разделить на четыре группы согласно типу повреждения. Это грибы:

- плесени;
- синевы;
- гнили;
- умеренной гнили.

Грибы плесени. Считается, что если грибы развиваются на поверхности и могут быть удалены щеткой – это грибы плесени. Интенсивное поражение неметаллических материалов различного происхождения плесневыми грибами связано с тем, что они мало специализированы по отношению к субстрату и обладают высокой приспособляемостью к изменениям условий среды обитания. Как известно, основными элементами питания грибов являются углерод и азот, в меньших количествах – фосфор, железо, кальций и магний. Источником энергии для грибов служит глюкоза.

Способность плесневых грибов поражать такой широкий круг материалов объясняется наличием у них большого набора ферментов, состав которых может меняться в зависимости от источников питания. Плесневые грибы, благодаря наличию у них редуктаз, способны к неполному разрушению углеводов в присутствии кислорода воздуха, вследствие чего они являются возбудителями окислительного брожения. Фумаровая, глюконовая, щавелевая, янтарная и другие кислоты, являющиеся промежуточными продуктами этого процесса, вызывают коррозию органических материалов: разъедание, снижение веса, изменение окраски, потерю прочности.

Все эти поражения сопровождаются изменением цвета древесины. Развитие процесса гниения начинается в древесине с влажностью 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: подслонную и подкладочную синеву.

К *поверхностным* относятся окраски, не проникающие в глубь древесины более чем на 2 мм, т. е. примерно на величину пропуска на строж-

ку. 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.

Подслойная синева – это окраска, встречающаяся только во внутренних слоях древесины. Благоприятные для развития подслошной синевы условия складываются, например, при быстром подсыхании поверхности зараженной древесины или при запоздалом поверхностном антисептировании. Зона скрытой синевы может колебаться от 5 до 12 мм в зависимости от вида гриба.

Прокладочная синева возникает при укладке древесины на прокладки из неантисептированного сортамента или на сырые и зараженные рейки.

В результате естественного отмирания живых клеток и параллельно начинающейся деятельности грибов происходит изменение цвета древесины лиственных пород, так называемое *лобурение*. Заболонь окрашивается в серые и буроватые тона, на фоне которых, как результат развития грибов, могут появляться коричневые, 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-бурю окраску 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.

ми. 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 пробуривают стенки клеток с использованием соответствующих энзимов.

Особенно часто гниение древесины вызывают грибы *Serpula lacrymans*, *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 lacrymans* разрушает именно лигнин.

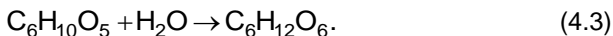
В последние годы исследователи начали изучать другую форму разрушения древесины – гнили, называемые *Soft rot*, которые размягчают поверхность материала с четким разделением гниющей и здоровой древесины.

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

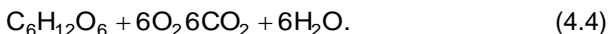
Грибы умеренной гнили. Умеренная гниль часто встречается и в деревянных элементах конструкций, постоянно омываемых водой, таких как градирни, деревянные трубы, подводные части речных и морских сооружений, детали бань. Этой гнилью поражаются деревянные части, находящиеся в контакте с землей: подземные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

Попавшая 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 деструктивных 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 4.1). *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.

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.

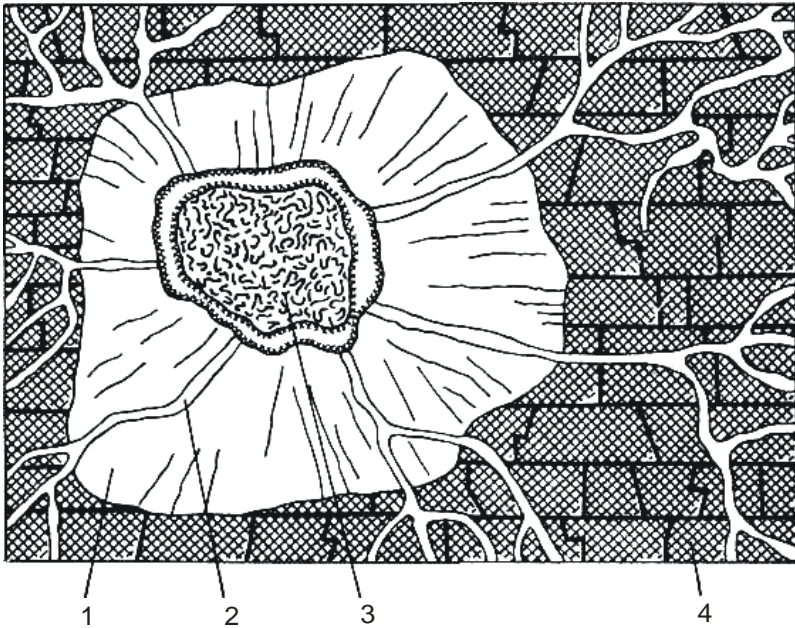


Рисунок 4.1 – Общее схематическое строение домашнего гриба:
 1 – грибница (мицелий), состоящая из гифов; 2 – шнуры (тяжи); 3 – плодовое тело, содержащее споры; 4 – гнилая древесина (так называемая деструктивная гниль)

Назначение шнуров – подводить питательные вещества к развивающемуся мицелию и плодовому 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 их количество, 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 домашними грибами. Например, применяя для ответственных элементов и конструкций дуб, можно уменьшить вероятность их поражения настоящим домашним 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 домашних 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 домашних 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 домашнего гриба).

Отмечено также, что некоторые домашние грибы (например, пленчатый домашний 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 домашних грибов, требующих кислой среды (например, настоящий домашний гриб). Изменить кислотность среды с целью предупреждения развития грибов практически невозможно.

Освещенность. Степень освещенности естественным дневным светом оказывает некоторое влияние на развитие домашних 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 домашний гриб). Однако варьирование освещенности деревянных конструкций с целью их защиты от гниения не является практически осуществимым защитным мероприятием.

Кислород. Кислород, получаемый домашними 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 домашних грибов. Для каждого вида домашнего гриба различают определенную минимальную, оптимальную и максимальную температуру. Так, для настоящего домашнего гриба она соответственно составляет 8, 23 и 27 °C; 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 °C (при воздействии в течение 3 ч), для спор – +100 (при воздействии в течение 6 ч) или +75 °C (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 вечном мерзлом 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, 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.).

4.7.2 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, обычны случаи поражения древоточцами нижних венцов деревянных стен, не изолированных от грунтовой влаги и уже затронутых деструктивной гнилью. Нередки разрушения насекомыми концов деревянных балок, заделанных в каменные стены и находящихся в условиях температурно-влажностного режима, которые благоприятно влияют на развитие домового гриба; часто объектом комбинированного разрушения (грибы + насекомые) являются влажные деревянные перекрытия санитарных узлов и ванных комнат.

Древоточцы. Древоточцы, разрушающие деревянные конструкции сооружения, принадлежат к двум типам животных: членистоногим (*Arthropoda*) и мягкотелым (*Mollusca*). При этом древоточцы, поражающие деревянные элементы сооружений на суше (т. е. надземных строительных объектов), относятся к классу насекомых (*Insecta*) типа членистоногих (*Arthropoda*). Среди древоточцев, принадлежащих к классу насекомых, территориально наиболее распространен и причиняет наибольший вред деревянным конструкциям отряд жуков, в состав которого входит много семейств с многочисленными родами и видами.

Семейство точильщиков (*Anobiidae*). Мебельный точильщик – *Anobium striatum* 01. *Syn. Anobium domesticum* Geoff r. 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 развития яйца до превращения его в личинку, продолжается около двух недель. Вылупившаяся личинка вгрызается в древесину, образуя в ней мелкие канальцы – 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.

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. 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.).

Пестрый точильщик (*Xestobium rufovillosum* Degeer. syn. *Anobium tessellatum*) – крупный жук, длина его 6–8 мм. 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. Ходы личинок круглые и в основном забиты экскрементами.

Обычно жук нападает на листовенную 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. Длина самок составляет от 10 до 25 мм, самцов – от 8 до 16 мм. Длина личинки цвета слоновой ко-

сти достигает 30 мм. Продолжительность жизни одного поколения – примерно 3–5 лет. Время жизни летающих насекомых – 2–4 недели. Лётное 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, 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. Callidium bajulum L. Жук длиной 7–21 мм характеризуется наличием двух блестящих мозолей на переднеспинке и волосяными пятнами надкрылий; голова – в довольно крупной неправильной и неравномерной более или менее густой пунктировке. Тело жука – от светло-бурого до черного цвета, покрыто тонкими беловатыми или сероватыми стоячими волосками. Личинка длиной 20–22 мм, шириной 6–8 мм, бледно-желтовато-белая, с буроватой головой и длинными волосками; голова большая с ямками и точками на переднем крае капсулы; верхние челюсти черные, блестящие, с округленной вершиной; ноги короткие. 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. Жук длиной 16–32 мм; голова небольшая, со сравнительно короткими челюстями, между усиками широкая борозда, усики длинные и тонкие, у самца – гораздо длиннее тела (приблизительно в 1,5 раза), у самок обычно заходят за вершину надкрылий одним-двумя последними члениками или равны длине тела; передспинка в очень густой мелкозернистой пунктировке. Волосной покров тела нежный желтый или бледно-желтый, негустой: 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 лежачими волосками желтовато-сероватого, беловато-серого или желтовато-белого, по большей части бледного цвета. Ноги и усики окрашены несколько светлее туловища, более красноватые или желтоватые. 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 мутно-белые, длиной 0,3–0,4 мм. Долгоносик-трухляк поражает только хвойную древесину (сосну, ель и др.). Оптимальными условиями развития являются абсолютная влажность древесины 20–35 % и температура воздуха 10–25 °С. Разрушенная древесина превращается в труху, в которой иногда трудно найти отдельные личиночные ходы, характерные для всех прочих жуков. Особенно часто долгоносиком-трухляком поражаются деревянные элементы кухонь, прачечных, ванны и других мест.

Рогохвосты (*Siricidae*). *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 све-

жесрубленный лесоматериал. Рогохвосты – сильные физиологические и технические вредители древесины. В конструкциях здания заселенная рогохвостами древесина подвергается сильному разрушению. Вылетающие из древесины взрослые насекомые покидают здание, улетают в поисках свежей древесины.

Существует несколько разновидностей рогохвостов, из которых *обыкновенный рогохвост (Sirex noctilio)* нападает на сосну, *черный (Sirex spectrum)* – на ель, *желтый (Sirex gigas)* – на сосну и лиственницу, *синий (Paururus 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.

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

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 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.

5.1 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 статической 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.

5.1.1 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 5.1):

- 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 5.1, д);
- ветвления зигзага трещины с включениями клиновидных элементов (см. рисунок 5.1, е);
- в виде часто расположенных трещин отрыва пересекаемых трещиной сдвига (см. рисунок 5.1, ж);
- тонкие части бетона между трещинами, которые могут разрушаться от потери устойчивости (см. рисунок 5.1, з).

Возможны и другие механизмы разрушений.

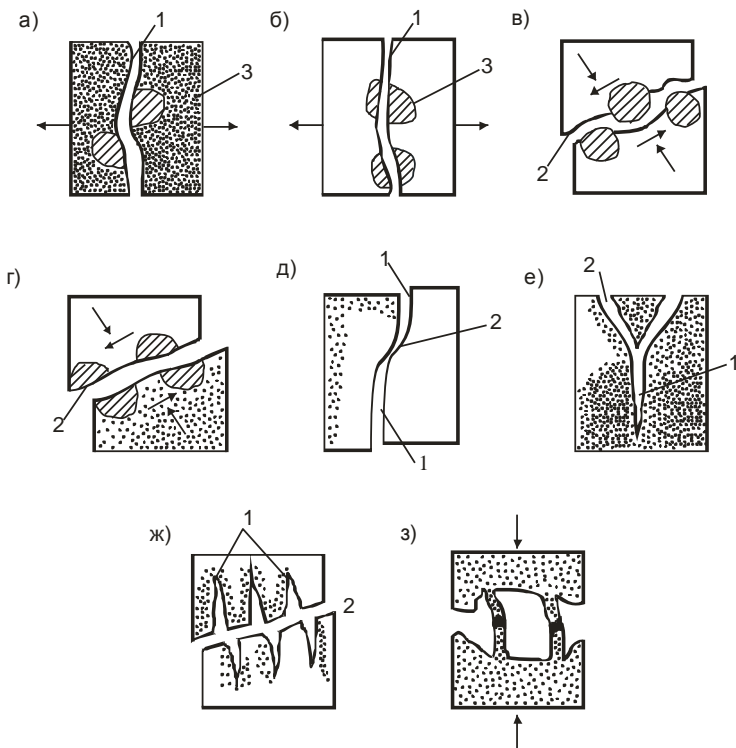


Рисунок 5.1 – Механизмы разрушения структуры бетона:

а, б – отрывной, в, г – сдвиговой, 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.

5.1.2 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.

5.1.3 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.



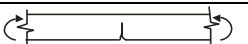

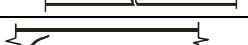

Необходимо отметить, что в зависимости от категории трещиностойкости, связанной с условиями эксплуатации, видом (классом) арматуры, напряженным состоянием сечений (растяжение, сжатие) и продолжительностью раскрытия, предельно допустимая ширина раскрытия трещин в условиях неагрессивной среды колеблется 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 5.1.

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 5.1 – Трещины в железобетонных элементах

Вид трещин	Форма трещин	Элементы конструкций
Сквозная клиновидная		Внецентренно-растянутые
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 перерезывающих сил и изгибающих моментов (рисунок 5.2).

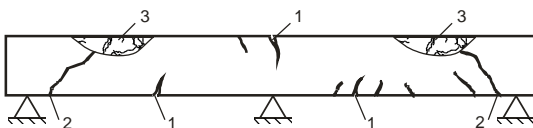


Рисунок 5.2 – Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах, работающих по балочной схеме:

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.

5.1.4 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 5.3, 5.4 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.

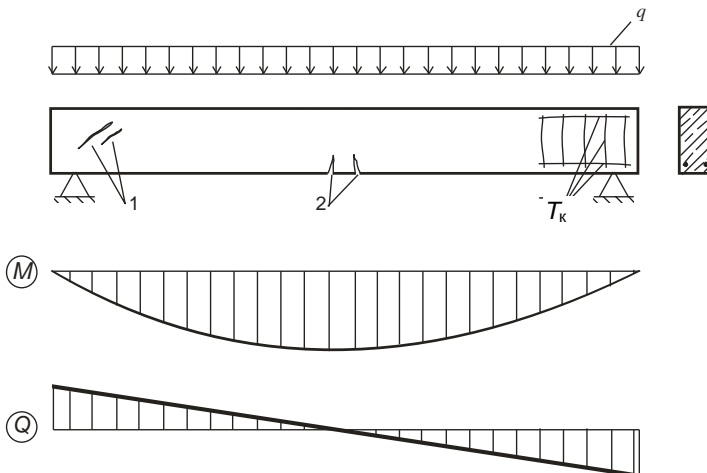


Рисунок 5.3 – Картина трещинообразования в однопролетной балке:
1, 2 – «силовые» трещины; T_k – трещины, образовавшиеся в результате коррозии стальной арматуры

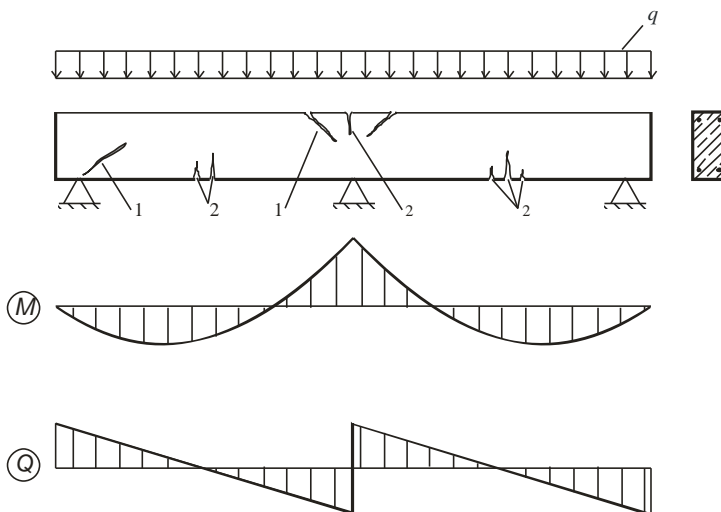


Рисунок 5.4 – Картина трещинообразования в многопролетной балке:
1, 2 – «силовые» трещины

5.1.5 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 5.5 приведены характерные трещины в предварительно напряженных стропильных балках.

Причины возникновения указанных на рисунке 5.5 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.

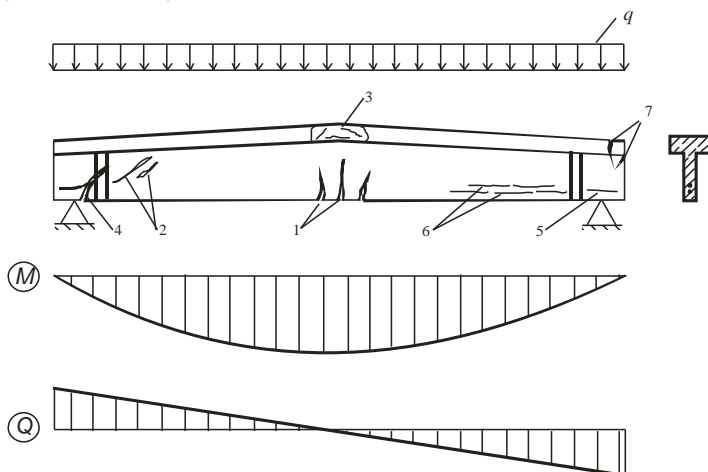


Рисунок 5.5 – Картина трещинообразования в предварительно напряженной стропильной балке:
1–7 – «силовые» трещины

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

5.1.6 Трещины в сжатых элементах

Появление продольных трещин вдоль арматуры (рисунок 5.6) 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.

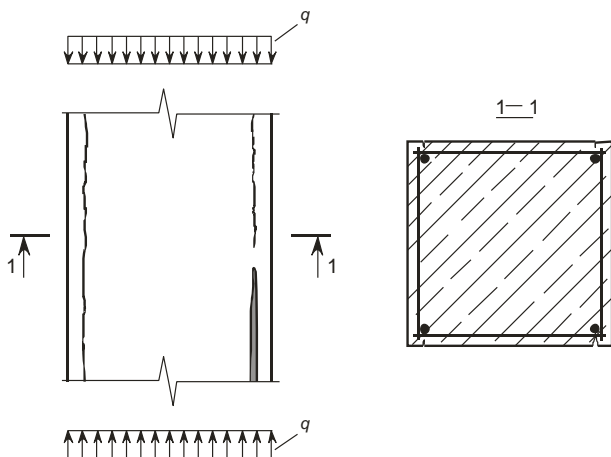


Рисунок 5.6 – Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах

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 5.7.

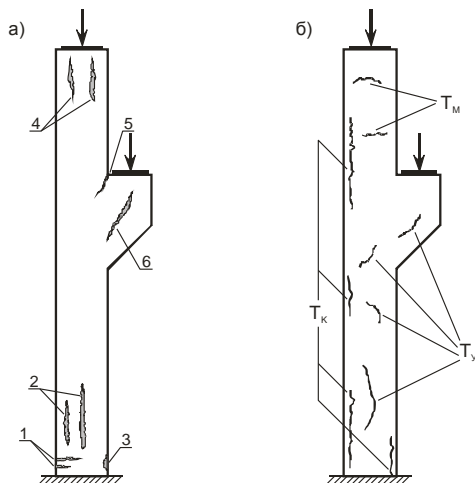


Рисунок 5.7 – Картина трещинообразования в колоннах сплошного сечения:
 а – трещины от действия эксплуатационных нагрузок;
 б – трещины от усадки бетона (T_y), коррозии арматуры (T_k), монтажных нагрузок (T_m)

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.

5.1.7 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 5.8.

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.

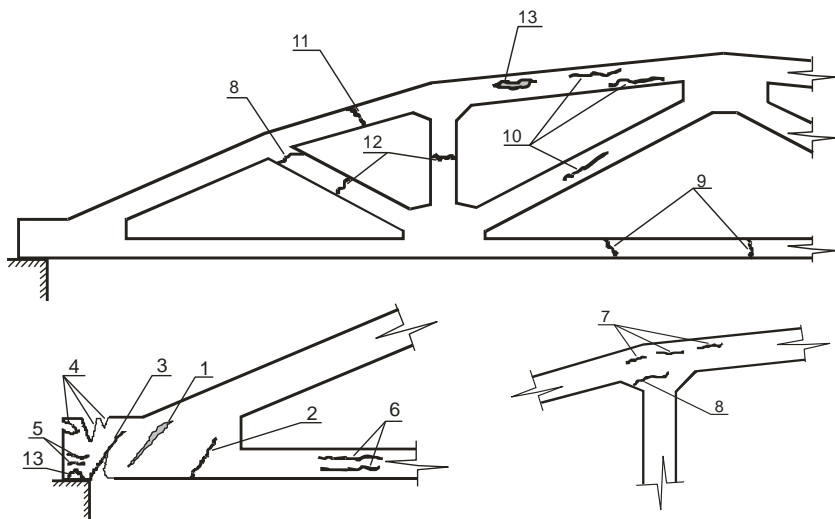


Рисунок 5.8 – Картина трещинообразования в стропильной ферме:
1–13 – различные типы трещин

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 свидетельствует об исчерпании прочности бетона на отдельных участках сжатого пояса или на опорах.

5.1.8 Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий

Характер трещинообразования в плитах и панелях представлен на рисунке 5.9.

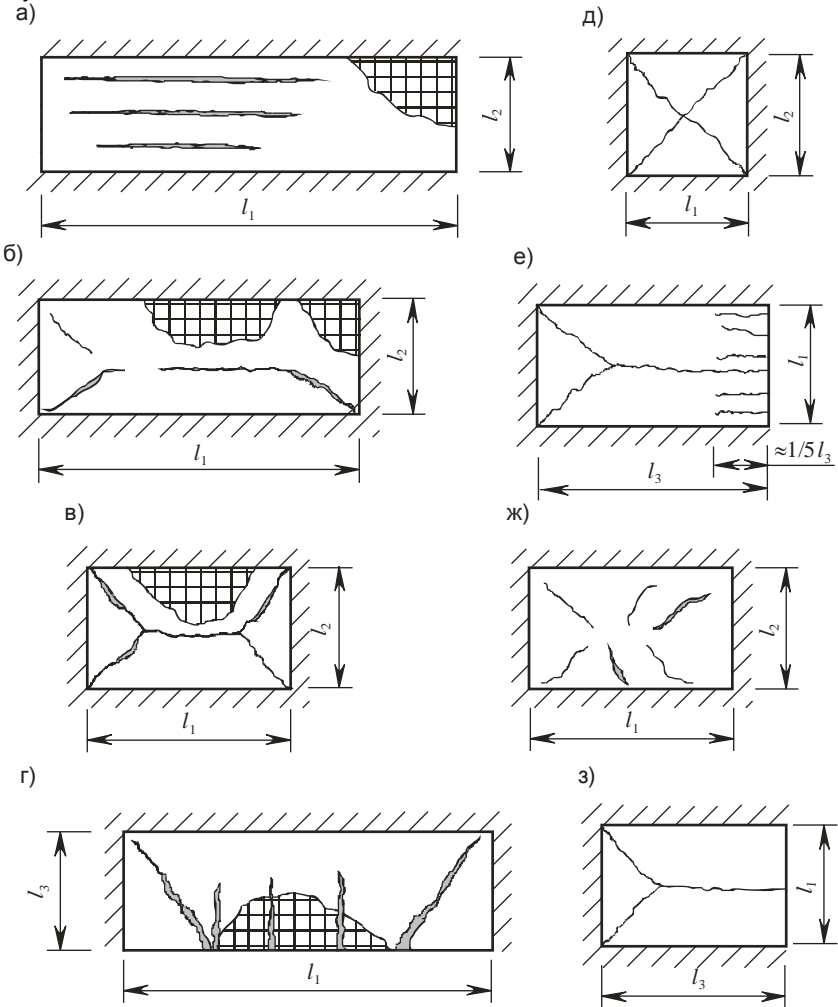


Рисунок 5.9 – Характерные «силовые» трещины на потолочной поверхности плит, нагруженных равномерно распределенной (а–е, з) и сосредоточенной (ж) нагрузками: а – работающих по балочной схеме при $l_1/l_2 \geq 3$; б – опертых по контуру при $2 < l_1/l_2 < 3$; в, ж – то же при $l_1/l_2 \leq 2$; д – то же при $l_1/l_2 = 1$; е – опертых по трем сторонам при $l_3/l_1 \ll 1,5$ (как правило, $l_3/l_1 = 0,3 \dots 0,5$); з – то же при $l_3/l_1 \leq 1,5$

Перекрытия промышленных предприятий работают в сложных условиях, испытывая технологические перегрузки, ударные и вибрационные воздействия, разрушающее влияние технических жидкостей и других агрессивных сред, что приводит к их быстрому износу, а следовательно, и появлению трещин. Для плит перекрытий с различным соотношением сторон характерно развитие трещин силового происхождения на нижней растянутой поверхности плит (см. рисунок 5.9). При этом бетон сжатой зоны может быть не нарушен. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты. Как видно из рисунка 5.9, 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 5.10.

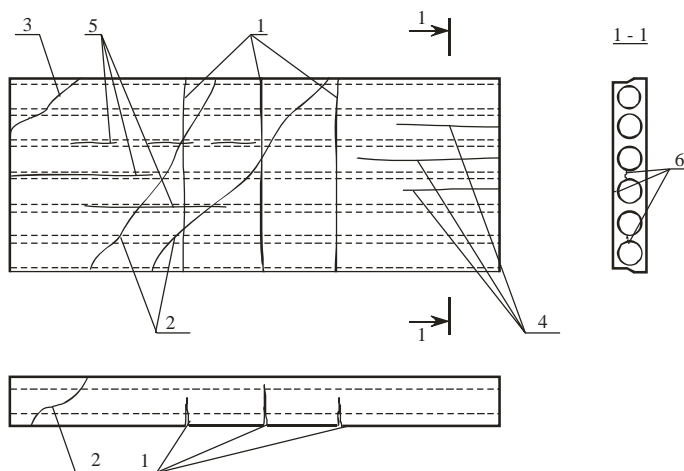


Рисунок 5.10 – Силовые и технологические трещины в многопустотной панели перекрытия:

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

Силловые трещины 1 (см. рисунок 5.10) в многпустотных 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 «втулов» 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 5.11 и 5.12.

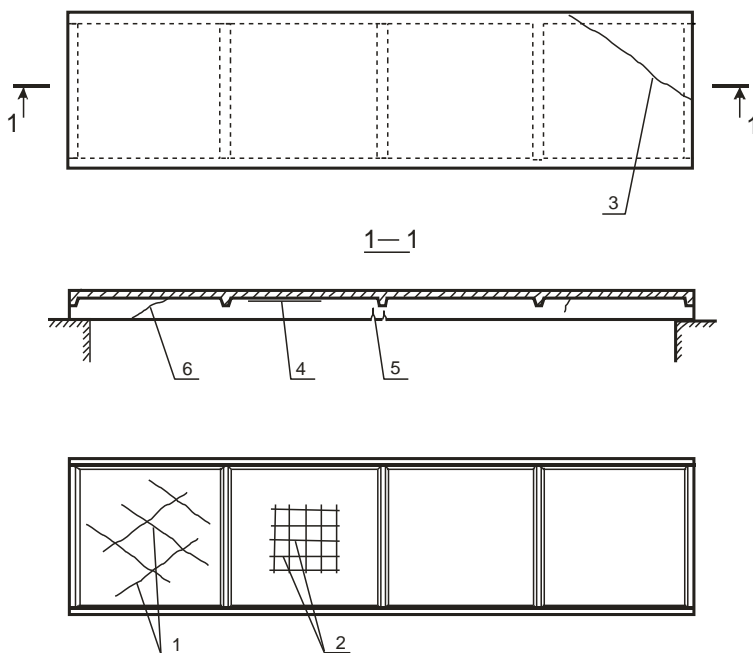


Рисунок 5.11 – Силловые и эксплуатационные трещины ребристой плиты перекрытия (покрытия):

- 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.

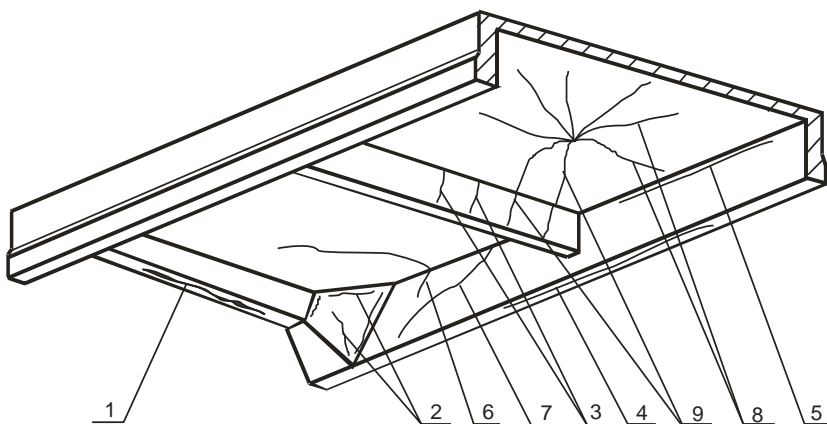


Рисунок 5.12 – Характерные трещины ребристой плиты перекрытия (покрытия): 1 – продольные по поперечным ребрам; 2 – различного характера по «вуту»; 3 – нормальные по поперечным ребрам; 4 – продольные в продольном ребре; 5 – горизонтальные на участке перехода полки в продольное ребро; 6 – наклонные по 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.

5.2 Трещины в каменных (кирпичных) конструкциях

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

5.2.1 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.

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

При нагрузках $F \geq F_{crc}$ начинают образовываться трещины. Хорошо известно, что кладка плохо сопротивляется растяжению. Поэтому на растянутых поверхностях (участках) трещины появляются значительно раньше возможного разрушения конструкции.

Первая стадия – появление первых волосяных трещин в отдельных камнях. Образование отдельных трещин длиной 15–18 см.

Экспериментально установлено, что усилие F_{crc} при котором появляются трещины, зависит от вида используемого в кладке раствора, а именно:

$$\text{– в случае кладки на цементном растворе } F_{crc} = (0,6 \dots 0,8) F_u \quad (5.1)$$

$$\text{– в случае кладки на сложном растворе } F_{crc} = (0,5 \dots 0,7) F_u \quad (5.2)$$

$$\text{– в случае кладки на известковом растворе } F_{crc} = (0,4 \dots 0,6) F_u \quad (5.3)$$

где F_u – разрушающее усилие кладки.

Вторая стадия – прорастание и объединение отдельных трещин. Образование трещин длиной 30–35 см через 25–30 см.

Третья стадия – разрастание и объединение трещин. Образование трещин длиной 60–65 см через 20–25 см.

Четвертая стадия – формирование трещин длиной более 65 см через 15–20 см. Образование больших поверхностей разрушения и истощение прочности кладки.

Последовательность развития трещин в кладке представлена на рисунке 5.13.

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 ука-

зывает на значительное перенапряжение кладки и необходимость ее срочной разгрузки или усиления.

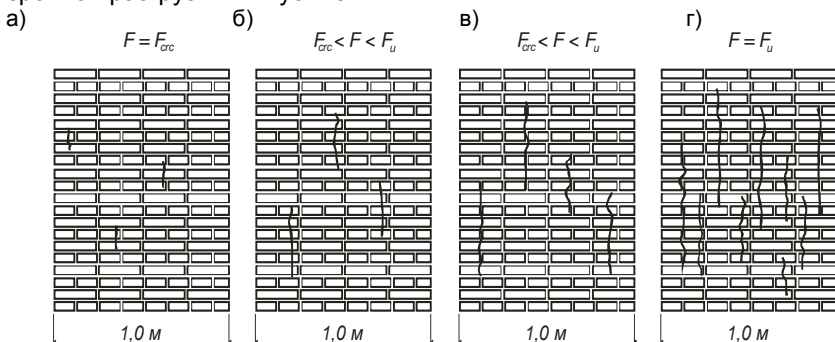


Рисунок 5.13 – Стадии трещинообразования каменной кладки при сжатии:
а – первая; б – вторая; в – третья; г – четвертая

5.2.3 Трещины в кирпичных внецентренно сжатых колоннах

Характер трещинообразования в кирпичных колоннах зависит от величины эксцентриситета приложения силы. При больших эксцентриситетах в растянутой зоне колонн по неперевязанному шву образуются горизонтальные трещины. С увеличением эксплуатационной нагрузки трещины раскрываются и удлиняются, в результате чего может произойти потеря устойчивости колонны или разрушение ее сжатой зоны. При малых эксцентриситетах горизонтальных трещин может не быть, однако, если имеет место перегрузка колонны, появляются вертикальные продольные трещины. Картина трещинообразования во внецентренно сжатой кирпичной кладке показана на рисунке 5.14.

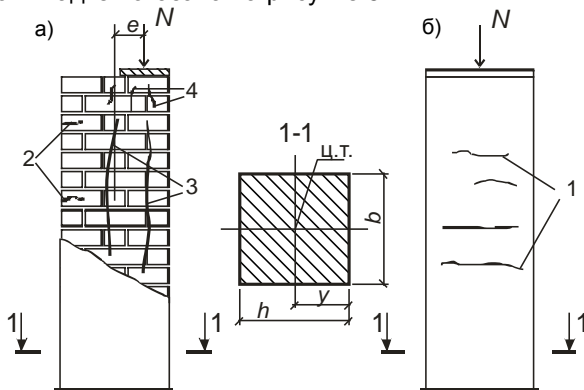


Рисунок 5.14 – Трещины во внецентренно-сжатой кирпичной колонне:
а – трещины в кладке при перегрузке; б – волосяные трещины на оштукатуренной

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

5.2.4 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. Из внешних силовых воздействий, вызывающих интенсивное трещинообразование, особо опасными являются те, которые возникают при неравномерной осадке фундаментов под стенами. 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 5.15 показана картина трещинообразования наружной кирпичной стены.

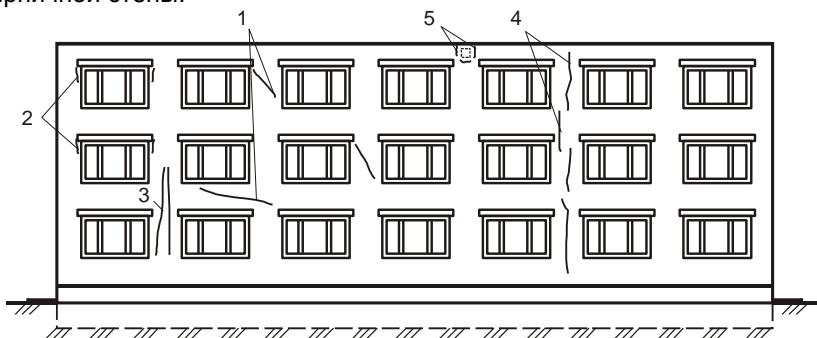


Рисунок 5.15 – Картина трещинообразования наружной стены кирпичного здания:

- 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

Образующиеся в стенах трещины имеют различную направленность и глубину проникновения в кладку. Так, при центральном сжатии в зоне перегрузки образуются вертикальные, параллельные направлению действующей силы, трещины, распространяющиеся на всю глубину стены. При внецентренном сжатии возможно образование неглубоких горизон-

талых 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.

Характер трещинообразования в кирпичных стенах при деформациях зданий от различных причин представлен на рисунках 5.16–5.25.

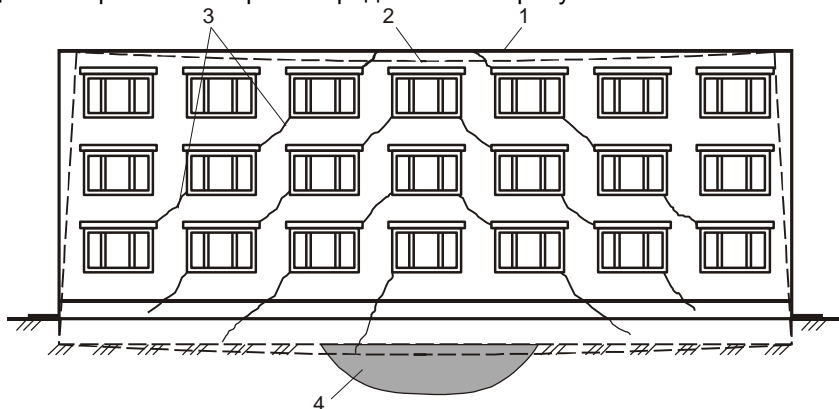


Рисунок 5.16 – Деформации в виде прогиба здания при наличии в основании слабого грунта:

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.)

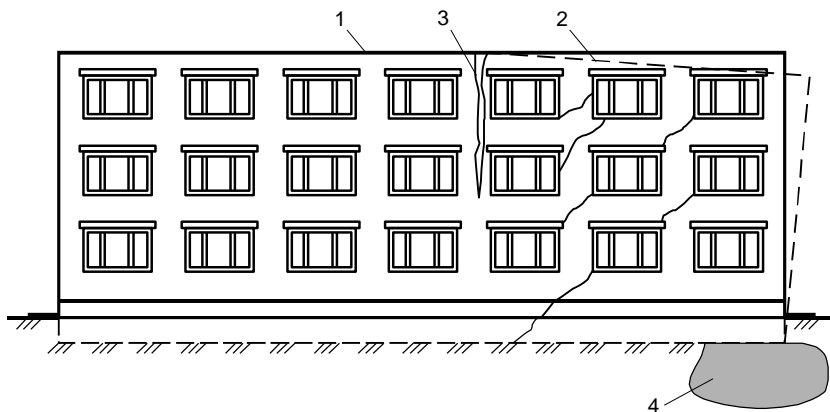


Рисунок 5.17 – Деформации в виде перекоса здания при наличии в основании слабого грунта:

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.)

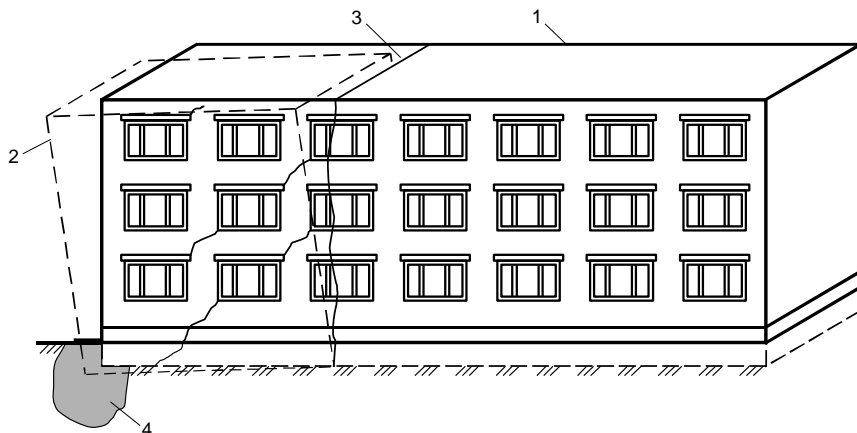


Рисунок 5.18 – Деформации в виде кручения здания при аварийном замачивании основания:

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

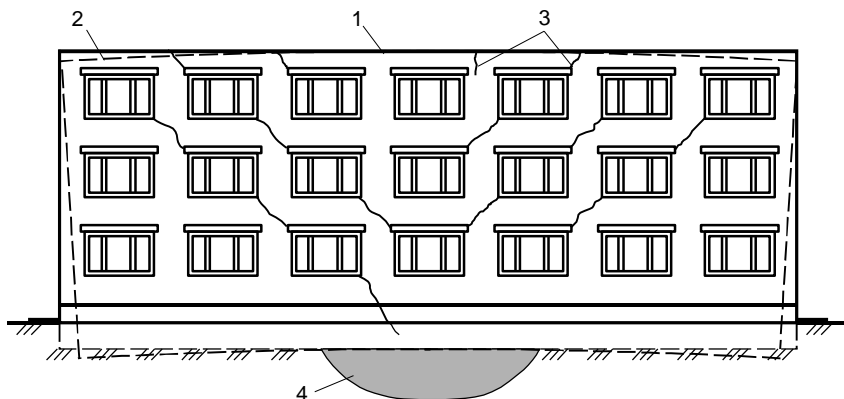


Рисунок 5.19 – Деформации в виде выгиба здания при наличии в основании малосжимаемого грунта:

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

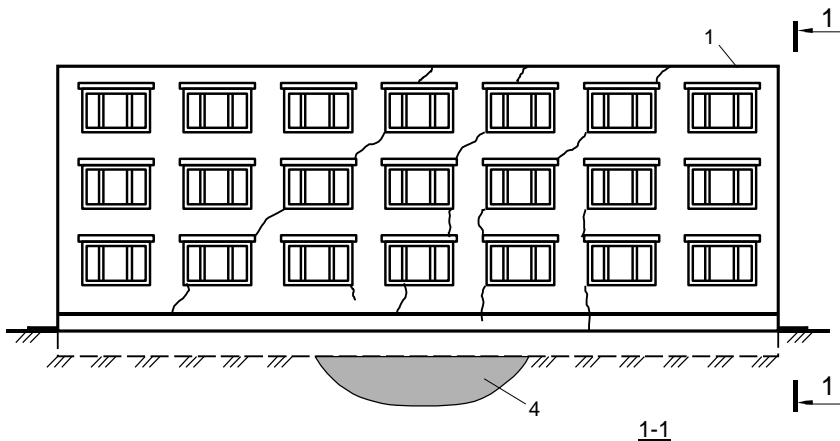


Рисунок 5.20 – Деформации в виде разлома здания при аварийном замачивании основания:

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

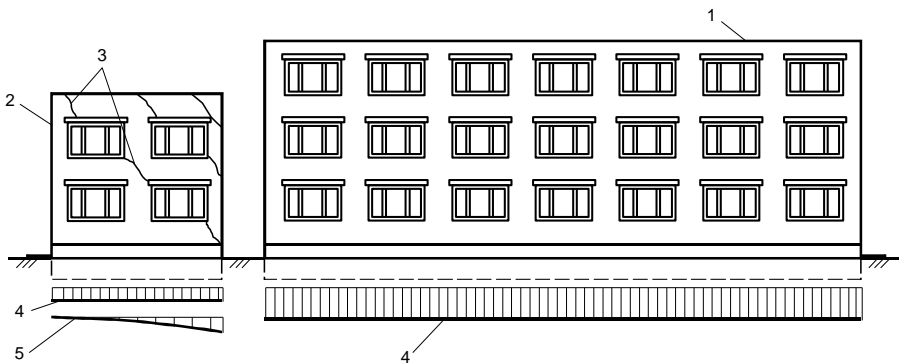
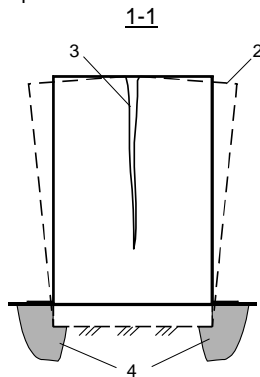


Рисунок 5.21 – Деформации при возведении нового здания возле существующего: 1 – возводимое новое здание; 2 – существующее здание; 3 – места появления трещин и развития поврежденных конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов; 5 – эпюра дополнительных осадок фундаментов

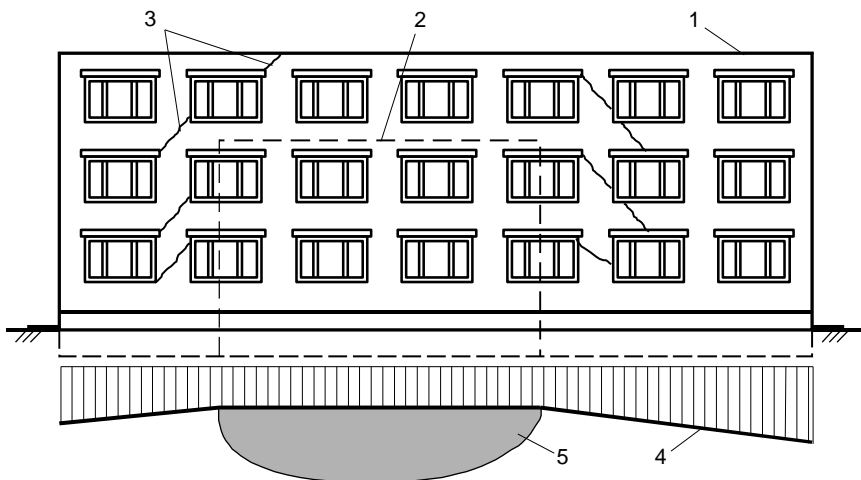


Рисунок 5.22 – Деформации при строительстве нового здания на месте снесенного:

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

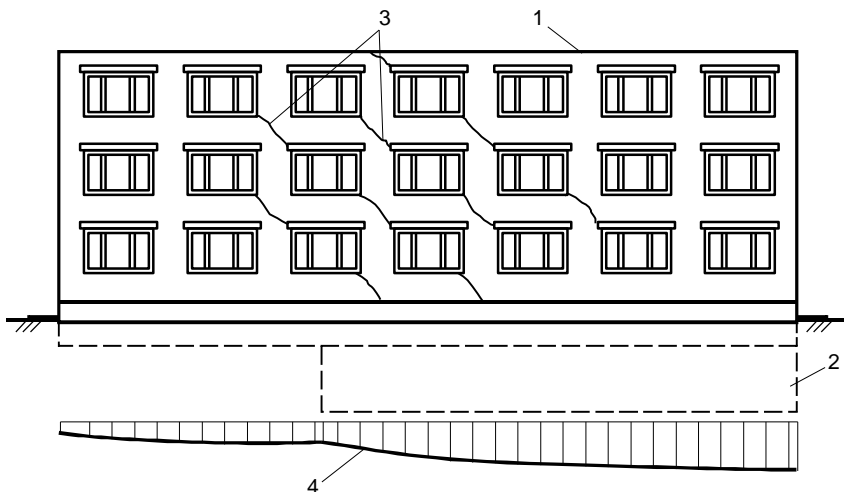


Рисунок 5.23 – Деформации при неправильном устройстве фундаментной части здания:

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

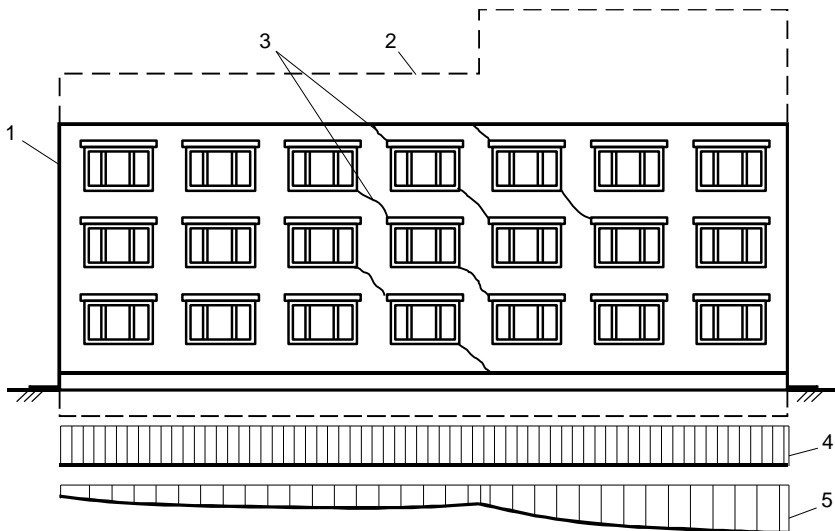


Рисунок 5.24 – Деформации при надстройке дополнительных этажей над зданием:

1 – существующее здание; 2 – надстройка над существующим зданием; 3 – места появления трещин и развития поврежденных конструкций; 4, 5 – соответственно эпюры осадок фундаментов до и после надстройки дополнительных этажей

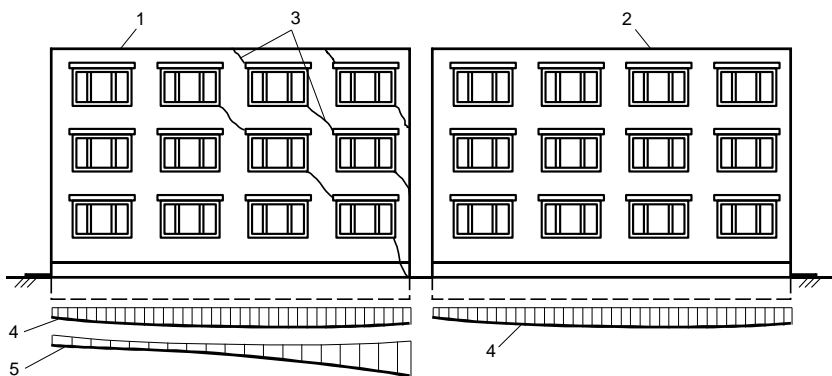


Рисунок 5.25 – Деформации при возведении здания в несколько очередей:

1 – возводимое новое здание; 2 – существующее старое здание; 3 – места появления трещин и развития поврежденных конструкций; 4 – эпюра осадок фундаментов нового здания; 5 – граница зоны уплотненного грунта

6 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рисунок 6.1 – Фрагмент свайного поля



Разрушение оголовков свай при их забивке, неполное погружение свай



Рисунок 6.2 – Фрагмент простенка наружной кирпичной стены

Незаполнение вертикальных швов раствором повсеместно на глубину до 50 мм; применение боя кирпичей (до 10 %); применение разнородных материалов; уширение простенка под перемычкой на величину 120 мм без устройства перевязки кладки; толщина вертикальных и горизонтальных швов – до 40 мм; нарушение горизонтальности рядов кладки («волны» до 10 мм)



Рисунок 6.3 –
Фрагмент
железобетонного
прогона

Демонтаж кладки наружной стены в опорной зоне прогона; консольное опирание прогона; отсутствие прогона в части воротного проема



Рисунок 6.4 –
Фрагмент покрытия

Некачественное опирание ребристых плит покрытия
(на стальные пластины, уложенные между балками покрытия)

Рисунок 6.5 –
Фрагмент узла
опирания
ребристых плит
покрытия на
железобетонную
балку



Недостаточная ширина опирания плит покрытия (до 30 мм)



Рисунок 6.6 –
Фрагмент узла
опирания плиты
типа ПК

Отклонение плиты от горизонтали на величину до 40 мм



Рисунок 6.7 –
Фрагмент
стропильной
системы

Недостаточная длина стропильных ног, наращивание недостающей длины стропильных ног в коньковой части посредством набивки двух досок толщиной не более 32 мм каждая

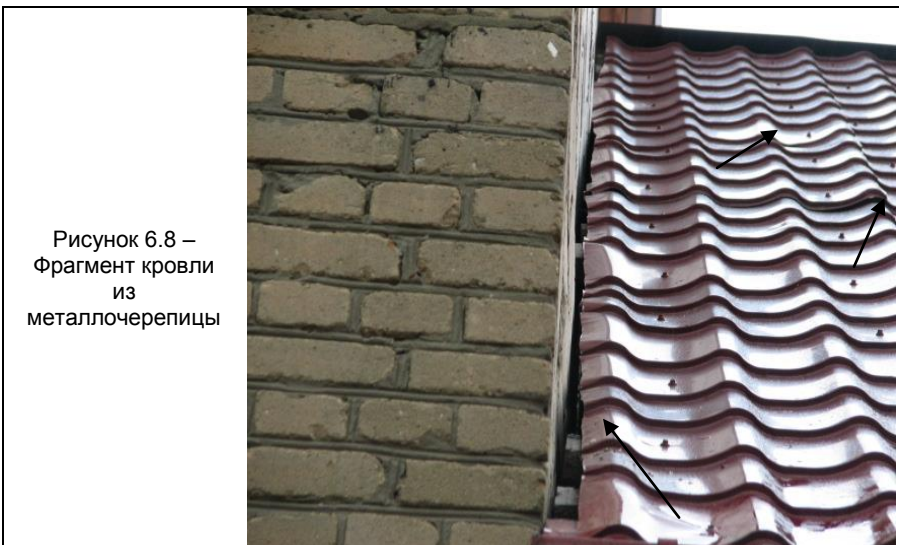


Рисунок 6.8 –
Фрагмент кровли
из
металлочерепицы

Отсутствие фартука на участке примыкания кровли к наружной стене; смещение фрагментов металлочерепицы относительно друг друга; неплотное прилегание листов металлочерепицы друг к другу на отдельных участках

Рисунок 6.9 –
Фрагмент вентшахты



Вентшахта сложена из разнородных стеновых штучных материалов с многочисленными включениями боя кирпичей и камней без применения кладочного раствора



Рисунок 6.10 –
Фрагмент наружной
кирпичной стены

Размораживание кладки на величину до 40 мм на многочисленных участках; выкрашивание раствора из швов кладки на глубину до 30 мм на многочисленных участках; размораживание и разрушение бетона перемычек на глубину до 20 мм на многочисленных участках



Рисунок 6.11 –
Фрагмент верхней
части наружной
кирпичной стены

Разрушение кладки в верхней части (отдельные кирпичи на грани обрушения); размораживание кладки на величину до 100 мм в верхней части, до 50 мм на многочисленных участках; выкрашивание раствора из швов кладки на глубину до 20 мм на отдельных участках; переувлажнение кладки и биоповреждения (мох) на многочисленных участках



Рисунок 6.12 –
Фрагмент внутренней
кирпичной стены

Размораживание кладки на величину до 30 мм на отдельных участках; выкрашивание раствора из швов кладки на глубину до 15 мм на многочисленных участках; биоповреждения (мох) на многочисленных участках

Рисунок 6.13 –
Фрагмент наружной
стены с выполненной
термореновацией



Отслаивание и обрушение штукатурного слоя, выполненного по утеплителю (пеностекло), с частичным разрушением утеплителя, вследствие выполнения работ по утеплению наружной стены в зимнее время, что привело к скоплению влаги на границе утеплителя и штукатурного слоя (пеностекло является негигроскопичным материалом), ее замерзанию и размораживанию поверхностного слоя утеплителя



Рисунок 6.14 –
Фрагмент простенка
наружной кирпичной
стены, облицованной
керамической плиткой
типа «кабанчик»

Выпучивание кладки на величину до 20 мм с образованием вертикальной трещины шириной раскрытия до 7,0 мм; отслаивание и обрушение участков облицовочного слоя



Рисунок 6.15 –
Фрагмент
наружной стены,
выполненной из
стеновых панелей

Размораживание и разрушение бетона стеновой панели на глубину до 20 мм, оголение и коррозия стержней арматурной сетки; выкрашивание заделки шва между панелями на многочисленных участках

Рисунок 6.16 –
Фрагмент
железобетонного
столба



Продольная трещина в месте расположения рабочей арматуры шириной раскрытия до 5,0 мм; размораживание бетона на величину до 10,0 мм в средней части на отдельных участках

Рисунок 6.17 – Фрагмент
стальной колонны
и элементов покрытия



Разрушение защитного окрасочного покрытия
на многочисленных участках; коррозия элементов колонны и покрытия
на многочисленных участках



Рисунок 6.18 –
Фрагмент
опорной зоны
железобетонной
фермы покрытия

Разрушение и отслаивание защитного слоя бетона; размораживание
бетона в опорной зоне фермы на глубину до 10 мм; оголение
и коррозия конструктивной арматуры опорной зоны фермы;
сколы бетона по ребрам нижнего пояса



Рисунок 6.19 –
Фрагмент
верхнего пояса
стальной фермы

Отслаивание и разрушение защитного покрытия;
поверхностная равномерная коррозия на многочисленных участках,
на отдельных – начало развития пластинчатой коррозии

Рисунок 6.20 – Фрагмент
железобетонных ребристых
плит покрытия



Разрушение и отслаивание защитного слоя бетона продольного ребра;
оголение и коррозия стержня рабочей арматуры продольного ребра;
продольная трещина по боковой поверхности продольного ребра шириной раскрытия
до 10 мм; трещины на стыке продольного (поперечного опорного)
ребра и полки шириной раскрытия до 0,3 мм

Рисунок 6.21 –
Фрагмент
железобетонных
ребристых плит
покрытия



Отслаивание и разрушение бетона защитного слоя на многочисленных участках; оголение и коррозия рабочей арматуры продольных и поперечных ребер; оголение и коррозия арматуры полок плит; продольная трещина по нижней поверхности поперечного ребра плиты шириной раскрытия до 5,0 мм



Рисунок 6.22 – Фрагмент
покрытия по деревянным
балкам

Прогиб главной балки на величину до 100 мм; увлажнение и поражение обрешетки дереворазрушающими грибами (начало гниения) на многочисленных участках



Рисунок 6.23 –
Фрагмент
стропильной ноги
и мауэрлата

Разрушение дереворазрушающими грибами (гниль) древесины стропильной ноги в зоне опирания на мауэрлат, поражение дереворазрушающими грибами (начало гниения) древесины мауэрлата; следы увлажнения конструкций



Рисунок 6.24 –
Фрагмент лежня

Разрушение древесины дереворазрушающими грибами (расслоение древесины на отдельные фрагменты-призмы); побурение древесины

Рисунок 6.25 –
Фрагмент
рулонной кровли



Расстройство швов в местах наклейки одной полосы рулонного материала на другую;
отслаивание одного слоя ковра от другого;
массовые вздутия кровельного ковра по всей площади



Рисунок 6.26 –
Фрагмент парапетных
железобетонных плит

Размораживание и разрушение бетона парапетных железобетонных плит
на всю толщину, оголение и коррозия стальной арматуры плит;
биоповреждения (мох, лишайник) бетона



Рисунок 6.27 –
Фрагмент кровли
из
асбестоцементных
листов

Отсутствие отдельных листов; уплотнение и разрушение утеплителя;
трещины, сколы и разрушение отдельных листов; разрушение
обрешетки; разрушение конька



Рисунок 6.28 –
Фрагмент сборной
железобетонной
балконной плиты

Разрушение и отслаивание защитного слоя бетона на многочисленных участках;
размораживание бетона нижней поверхности плиты на глубину до 20 мм,
разрушение бетона на всю толщину плиты по краям; оголение и коррозия арматуры

Рисунок 6.29 –
Фрагмент пола
с покрытием
из паркета



Рассыхание и вспучивание покрытия на величину до 100 мм;
рассыхание покрытия по швам рисунка, а также между паркетными планками (клепками);
разрушение лакового покрытия



Рисунок 6.30 –
Фрагмент отмостки

Расположение отмостки ниже уровня планировки;
разрушение поверхностного слоя на глубину до 15 мм повсеместно;
прорастание растений на многочисленных участках

7 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Оценка технического состояния элементов и конструкций зданий и сооружений выполняется в соответствии с [42–47] и может изменяться в процессе их совершенствования.

7.1 Оценка степеней значимости и распространения дефектов и повреждений

Оценку технического состояния строительных конструкций в Республике Беларусь [46, 47] 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:

$$\Delta = \frac{X_i - X_{\min(\max)}}{X_{\min(\max)}}, \quad (7.1)$$

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.

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.

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.

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 подразд. 7.1, требованиям ТНПА на конкретные элементы зданий или с учетом рекомендаций производителей.

7.2 Категории технического состояния конструкций

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 допускается 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 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 поврежденных, восстановление защитного слоя бетона, восстановление защитного покрытия элементов и т. д.).

7.3 Оценка технического состояния конструкций

Категорию технического состояния конструкции здания (ее отдельного участка) в зависимости от класса дефектов, степени их распростра-

нения, а также от назначенной аттестованным специалистом по обследованию зданий степени ответственности участка, или элемента конструкции, или системы, где обнаружены данные дефекты, определяют по таблице 7.1.

Таблица 7.1 – 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	$\frac{IV, V}{III, IV}$	$\frac{III}{II}$	$\frac{II}{I}$

Примечания

- 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 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 7.1 сочетания параметров дефектов в любом из элементов (участков) конструкции определенной степени ответственности.

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 Д и Е 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.

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 подразд. 7.1. 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 детальном обследовании для анализа динамики измерения КТС.

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.

Долю конструкций (их участков) с конкретным показателем КТС (Π) в общем объеме конструкций данного вида определяют по формуле

$$D_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}}{V_0}, \quad (7.2)$$

где V_{Π} – объем (количество, площадь, длина и т. д.) конструкций (их участков), имеющих данный показатель КТС ($\Pi = 1 \dots 5$); V_0 – общий объем (количество, площадь, длина и т. д.) оцененных конструкций данного вида.

Усредненный показатель КТС для группы конструкций одного вида вычисляют по формуле

$$\text{УП} = \sum_1^5 \Pi D_{\Pi}, \quad (7.3)$$

где Π – показатель КТС.

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.

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.

Оценка КТС, в зависимости от задач обследования, может быть выполнена как для отдельного участка здания, так и для всего здания.

Сравнивая полученные индивидуальные значения КТС на схеме расположения элементов, а также значения D_n и УП с 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.

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.

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 классов сложности приближенную качественную оценку степени риска допускается выполнять с использованием рейтингового подхода.

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 – незначительный ущерб;
- 3-й – умеренный;
- 4-й – высокий;
- 5-й – очень высокий.

В СТБ ISO 2394, СТБ ISO 13822 учитываются риски, связанные только с безопасностью по результатам выполнения вероятностных или полувероятностных 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 несущих 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 непри-

емлемы, 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).

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 – низкая;
- 3-й – умеренная;
- 4-й – высокая;
- 5-й – очень высокая.

При оценке 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.

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 – низкая;
- 3-й – умеренная;
- 4-й – высокая;
- 5-й – очень высокая.

7.4 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.

8 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА

Основную долю строительных конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) различных типов, именно их состояние определяет техническое состояние подавляющего большинства эксплуатируемых и проектируемых зданий и сооружений.

Сегодня в Республике Беларусь оценка технического состояния ЖБЭ и ЖБК выполняется в соответствии с [46, 47] по результатам общего либо детального обследования на основании анализа степеней значимости и распространения выявленных при обследовании дефектов и повреждений элементов и конструкций. Такая оценка производится на основании натурных исследований с применением измерительного оборудования, лабораторного анализа, технических расчетов и т. д. Однако зачастую достаточно объективно оценить их техническое состояние можно уже на стадии визуального осмотра, даже без применения дополнительного оборудования (рисунки 8.1–8.6).



Многочисленные наклонные сквозные трещины до ширины раскрытия до 15 мм, выгиб панели относительно вертикальной оси на величину до 50 мм, разрушение панели на отдельных участках

Рисунок 8.1 – Фрагмент стеновой панели



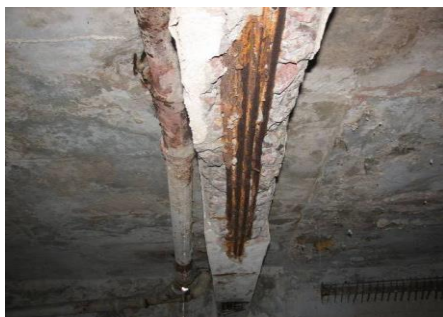
Размораживание и разрушение бетона защитного слоя на глубину до 20 мм на многочисленных участках, оголение и коррозия арматурных стержней высокой степени интенсивности на многочисленных участках

Рисунок 8.2 – Фрагмент панели ограждения



Отслаивание и разрушение защитного слоя бетона на участке перехода балочной части в стоечную; оголение и коррозия рабочей и конструктивной арматуры; массовые биоповреждения (грибок)

Рисунок 8.3 – Фрагмент полурамы



Разрушение и отслаивание защитного слоя бетона балки перекрытия; оголение и коррозия рабочей арматуры балки перекрытия; следы увлажнения и биоповреждения (грибок) на многочисленных участках

Рисунок 8.4 – Фрагмент балки перекрытия



Отслаивание защитного слоя бетона продольного ребра; оголение и коррозия стержня рабочей арматуры продольного ребра; продольная трещина по боковой поверхности продольного ребра шириной раскрытия до 10 мм; трещины на стыке продольного ребра и полки шириной раскрытия до 0,3 мм

Рисунок 8.5 – Фрагмент продольных ребер плит покрытия

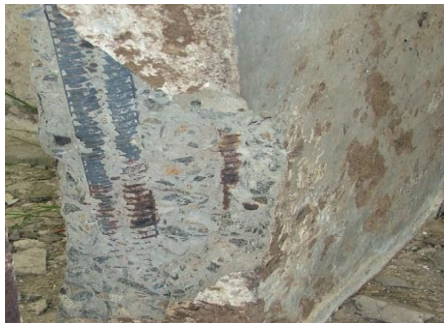


Отрыв опорного поперечного ребра от полки плиты покрытия; оголение и сплошная поверхностная коррозия стальной арматуры продольного и поперечного ребер; размораживание и разрушение бетона защитного слоя полки и ребер плиты на многочисленных участках на глубину до 15 мм

Рисунок 8.6 – Фрагмент ребристой плиты покрытия

Развитие коррозионных повреждений бетона и стальной арматуры с течением времени в зависимости от эксплуатационных условий логично и, соответственно, математически прогнозируемо. Однако достаточно часто коррозионные повреждения более высокой интенсивности (при эксплуатации ЖБЭ и ЖБК в однотипных условиях) наблюдаются в элементах и конструкциях, эксплуатирующихся менее длительные сроки. С другой стороны, при практически одинаковой (внешне) поврежденности ЖБЭ и ЖБК их техническое состояние (эксплуатирующихся в одном здании и подверженных, соответственно, схожим атмосферным воздействиям) за счет раз-

личного течения коррозионных процессов в бетоне и стальной арматуре может разительно отличаться, что постоянно подтверждают результаты многочисленных детальных обследований (со вскрытием бетона защитного слоя и оценкой коррозионного состояния стальной арматуры) длительно эксплуатируемых ЖБЭ и ЖБК (см. рисунки 8.7–8.16).



Условия эксплуатации – сельскохозяйственное здание. Срок эксплуатации – 36 лет.
Начало поверхностной коррозии стальной арматуры. Стальная арматура находится, в основном, в пассивном состоянии

Рисунок 8.7 – Фрагмент стоечной части полурамы



Условия эксплуатации – сельскохозяйственное здание. Срок эксплуатации – 30 лет.
Поверхностная коррозия стальной арматуры высокой степени интенсивности с уменьшением площади поперечного сечения до 50 %

Рисунок 8.8 – Фрагмент балочной части полурамы



Условия эксплуатации – сельскохозяйственное здание. Срок эксплуатации – 40 лет.
Поверхностная коррозия стальной арматуры с уменьшением площади поперечного сечения на 10 %

Рисунок 8.9 – Фрагмент продольных ребер плит покрытия



Условия эксплуатации – сельскохозяйственное здание. Срок эксплуатации – 28 лет.
Поверхностная коррозия стальной арматуры с уменьшением площади поперечного сечения на 20 %

Рисунок 8.10 – Фрагмент балки покрытия



Условия эксплуатации – общественное здание. Срок эксплуатации – 32 года.
Начало поверхностной коррозии стальной арматуры.

Рисунок 8.11 – Фрагмент балки перекрытия



Условия эксплуатации – общественное здание. Срок эксплуатации – 18 лет.
Поверхностная коррозия стальной арматуры с уменьшением площади поперечного сечения до 30 %

Рисунок 8.12 – Фрагмент плиты покрытия



Условия эксплуатации – общественное здание. Срок эксплуатации – 53 года.
Начало поверхностной коррозии стальной арматуры.

Рисунок 8.13 – Фрагмент плит перекрытия



Условия эксплуатации – общественное здание. Срок эксплуатации – 34 года.
Поверхностная коррозия стальной арматуры с уменьшением площади поперечного сечения на 25 %

Рисунок 8.14 – Фрагмент плиты перекрытия



Условия эксплуатации – общественное здание. Срок эксплуатации – 42 года.
Стальная арматура находится в пассивном состоянии

Рисунок 8.15 – Фрагмент плит перекрытия



Условия эксплуатации – общественное здание. Срок эксплуатации – 24 года.
Поверхностная коррозия стальной арматуры с уменьшением площади поперечного сечения на 20 %

Рисунок 8.16 – Фрагмент плит покрытия

Приведенное выше предопределяет необходимость при оценке и, самое главное, при прогнозировании поврежденности ЖБЭ и ЖБК учитывать не только физико-механические характеристики бетона и стальной арматуры, определенные на момент детального обследования, но и внутренние процессы, происходящие в бетоне и изменяющие состояние его защитных свойств по отношению к стальной арматуре.

Все ЖБЭ (ЖБК), эксплуатирующиеся в воздушных средах, подвержены влиянию находящихся в них кислых газов. Поскольку концентрация углекислого газа в воздухе в $10\text{--}10^4$ раз выше концентрации других кислых газов, основным процессом нейтрализации бетона ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных воздушных средах является карбонизация. Карбонизация бетона вызывает его нейтрализацию и, как следствие, потерю бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре, что в соответствующих условиях способствует образованию и развитию процессов коррозии стальной арматуры различной степени интенсивности. Карбонизации подвержены все ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующиеся в любых воздушных средах, что и обуславливает необходимость исследования ее влияния на изменение технического состояния ЖБЭ и ЖБК в процессе эксплуатации [31–34].

На сегодняшний день, несмотря на многочисленные исследования параметров карбонизации различными авторами, нет единого мнения ни о механизме, ни о способах ее оценки, что вызвано, в первую очередь, применением метода определения толщины прокарбонизированного бетона, основанного на фенолфталеиновом тесте (ФФТ), не позволяющего оценивать защитные свойства бетона ни в переходной зоне, ни за ее пределами, т. о. объективно оценивать и прогнозировать величину и скорость развития карбонизации, ее влияние на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре и, как следствие, техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) [31–34].

Для создания методик, позволяющих реально оценивать и прогнозировать техническое состояние ЖБЭ и ЖБК с учетом карбонизации бетона и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, необходимо исследование изменения карбонизации по сечению бетонов различных составов для основных классов по прочности сразу после изготовления бетона (начальной карбонизации) и во времени в зоне расположения стальной арматуры для бетонов различных классов по прочности; разработка расчетно-экспериментальной модели карбонизации бетона; исследование зависимости коррозионного состояния стальной арматуры от состояния защитного слоя бетона и зависимости степени карбонизации бетона от показателя щелочности поровой жидкости бетона; разработка критериев оценки технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона.

Исследования и оценка параметров карбонизации должны выполняться на основе использования методов pH- и карбометрии (определе-

ния показателей водной вытяжки цементного камня (показателя рН), поскольку именно он определяет защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре и карбонатной составляющей (показателя КС), так как содержание карбонатов определяет изменение показателя рН и нейтрализацию бетона.

Для исследования карбонизации и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре автором разработаны экспресс-методы определения показателя водной вытяжки цементного камня (показателя рН) и карбонатной составляющей (показателя КС) (приложение А).

8.1 Оценка и прогнозирование карбонизации бетона

По результатам многолетних исследований карбонизации по сечению бетонов различных составов (для марок бетонных смесей по удобоукладываемости П1, Ж1 и Ж2) сразу после изготовления с применением ТВО и изменения карбонизации во времени в зоне расположения стальной арматуры в бетонах различных классов по прочности на сжатие были получены системы расчетно-экспериментальных зависимостей изменения карбонатной составляющей (показателя КС) во времени по сечению бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$ для эксплуатационных условий открытой атмосферы, сельскохозяйственных зданий, общественных зданий и промышленных – с неагрессивной эксплуатационной средой, а по ним – аналогичные зависимости изменения степени фактической карбонизации (показателя СФК).

В общем виде зависимость $СФК = f(C_p, l, t)$ для расчетных значений содержания цемента

$$СФК \sim C_p, l, t \cong \frac{КС}{МВК_B} \cdot 100 \%, \quad (8.1)$$

где КС – карбонатная составляющая, %; $МВК_B$ – максимальная величина карбонизации бетона во времени, %.

Зависимость $КС = f(C_p, l, t)$ для расчетных значений содержания цемента, в общем виде

$$КС(C_p, l, t) \cong \alpha_1 + (\alpha_2 + \alpha_3 \sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}, \quad (8.2)$$

где α_1 – коэффициент, определяющий минимальное значение карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона, %; α_2 – коэффициент, определяющий начальную карбонизацию бетона, %; α_3 – коэффициент, определяющий скорость карбонизации, %·лет^{1/2}; t – прогнозный

период, лет; 14,2 – коэффициент, определяющий форму кривой и координаты точек перегиба, д. ед; 14,2 – коэффициент, определяющий форму кривой и координаты точек перегиба, д. ед; l – рассматриваемое сечение бетона, мм; 100 – коэффициент, определяющий максимальное значение сечения бетона, мм; 5,05 – коэффициент, определяющий форму кривой и координаты точек перегиба, мм; 0,85 – коэффициент, определяющий форму кривой и координаты точек перегиба, д. ед.

Максимальная величина карбонизации бетона во времени для расчетных значений содержания цемента

$$MBK_B = MBK_H (1 + \lambda \lg t), \quad (8.3)$$

где MBK_H – максимальная начальная величина карбонизации бетона для расчетного содержания цемента, %; λ – коэффициент, определяющий скорость прироста карбонизации, 1/лет.

Значения коэффициентов α_1 – α_3 для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации открытой атмосферы (областей обычной (О) и ускоренной (У) карбонизации) для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Значения коэффициентов α_1 – α_3 для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1

Класс бетона по прочности на сжатие	Расчетное содержание цемента, $C_{cpП1}, \text{кг/м}^3$	Условия эксплуатации					
		А О			А У		
		α_1	α_2	α_3	α_1	α_2	α_3
$C^{12}/_{15}$	213	2,43	0,500	0,681	2,43	0,510	0,965
$C^{16}/_{20}$	275	2,91	0,570	0,626	2,91	0,570	0,896
$C^{18}/_{22,5}$	305	3,14	0,610	0,599	3,14	0,610	0,863
$C^{20}/_{25}$	334	3,37	0,640	0,572	3,37	0,630	0,832
$C^{22}/_{27,5}$	364	3,60	0,670	0,545	3,60	0,670	0,799
$C^{25}/_{30}$	397	3,85	0,720	0,516	3,85	0,710	0,762
$C^{28}/_{35}$	464	4,37	0,790	0,455	4,37	0,780	0,689
$C^{30}/_{37}$	490	4,57	0,830	0,432	4,57	0,810	0,660
$C^{32}/_{40}$	529	4,87	0,870	0,397	4,87	0,850	0,617
$C^{35}/_{45}$	592	5,35	0,950	0,340	5,35	0,920	0,548
$C^{40}/_{50}$	654	5,83	1,03	0,284	5,83	0,990	0,480
$C^{45}/_{55}$	714	6,29	1,10	0,230	6,29	1,06	0,414
$C^{50}/_{60}$	774	6,75	1,17	0,176	6,75	1,13	0,348

Зависимости $MBK_B = f(C_{cp}, t)$ для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации открытой атмосферы (областей обычной (О) и ускоренной (У) карбонизации) для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 приведены в таблице 8.2.

Регрессионная зависимость (8.1) позволяет прогнозировать изменение показателя СК во времени по сечению бетона с момента изготовления изделия.

Таблица 8.2 – Зависимости $МВК_{в} = f(C_p, t)$ для классов бетона по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}-C^{50}/_{60}$ подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1

Класс бетона по прочности на сжатие	Условия эксплуатации	
	А О	А У
$C^{12}/_{15}$	$17,54 + 0,9042 \lg t$	$19,00 + 2,259 \lg t$
$C^{16}/_{20}$	$20,46 + 0,7601 \lg t$	$21,69 + 1,901 \lg t$
$C^{18}/_{22,5}$	$21,76 + 0,7014 \lg t$	$22,89 + 1,756 \lg t$
$C^{20}/_{25}$	$22,93 + 0,6488 \lg t$	$23,97 + 1,624 \lg t$
$C^{22}/_{27,5}$	$24,07 + 0,6039 \lg t$	$25,04 + 1,508 \lg t$
$C^{25}/_{30}$	$24,80 + 0,5542 \lg t$	$25,69 + 1,384 \lg t$
$C^{28}/_{35}$	$27,27 + 0,4920 \lg t$	$28,07 + 1,227 \lg t$
$C^{30}/_{37}$	$27,72 + 0,4630 \lg t$	$28,47 + 1,154 \lg t$
$C^{32}/_{40}$	$28,11 + 0,4150 \lg t$	$28,77 + 1,034 \lg t$
$C^{35}/_{45}$	$28,26 + 0,3460 \lg t$	$28,83 + 0,8674 \lg t$
$C^{40}/_{50}$	$27,99 + 0,2851 \lg t$	$28,45 + 0,7140 \lg t$
$C^{45}/_{55}$	$27,62 + 0,2380 \lg t$	$28,00 + 0,5910 \lg t$
$C^{50}/_{60}$	$27,10 + 0,1940 \lg t$	$27,42 + 0,4870 \lg t$

Путем математической обработки зависимости (8.1) получено выражение для оценки времени достижения бетоном защитного слоя в зоне расположения стальной арматуры, граничных значений показателя СК:

$$t = \left(\frac{СФК_r \cdot МВК_{в} - \alpha_1 - \alpha_2 e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}}{\alpha_3 e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}} \right)^2 \quad (8.4)$$

где t – время наступления граничного значения показателя СК, лет;
 $СФК_r$ – граничное значение степени карбонизации бетона, %.

Выражение (8.4) позволяет, задаваясь граничным значением показателя $СФК$, получить период гарантированного нахождения стальной арматуры в пассивном состоянии (либо срок начала коррозии) в зависимости от толщины защитного слоя бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}/_{15}-C^{50}/_{60}$ и различных эксплуатационных условий (что очень важно для преднапрягаемых конструкций) или прогнозируемое время иницирования коррозии стальной арматуры либо определенной степени ее коррозионного повреждения.

8.2 Оценка и прогнозирование технического состояния ЖБЭ и ЖБК с учетом карбонизации бетона

На основании многолетних исследований карбонизации бетона и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре была выявлена взаимосвязь состояния стальной арматуры, состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре со степенью потери защитных свойств при карбонизации для любого сечения бетона, что позволило назначить количественные критерии качественной оценки технического состояния ЖБЭ и ЖБК (таблица 8.3) в зависимости от степени карбонизации бетона, для повышения объективности оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК) с учетом карбонизации бетона во времени [33, 34, 48–52, 55].

Таблица 8.3 – Критерии оценки технического состояния ЖБЭ и ЖБК с учетом карбонизации бетона

СК, %	Состояние бетона и арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (СН 1.04.01-2020)
<13	<p>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 потеряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре, что вызовет возможность развития ее коррозии в условиях переменной влажности.</p> <p>Бетон сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре, стальная арматура находится в пассивном состоянии.</p> <p>0 степень карбонизации бетона, потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – хорошее</p>
13–26	<p>Начало деградации бетона. Происходит снижение показателя pH ниже граничного значения, свидетельствующее о потере бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре.</p> <p>I степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры.</p> <p>Состояние бетона – удовлетворительное.</p> <p>Образование сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,1 мм на отдельных участках при СК = 13...18 %.</p> <p>Состояние стальной арматуры – удовлетворительное.</p> <p>Образование сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,2 мм на отдельных участках при СК = 18...26 %.</p> <p>Состояние стальной арматуры – не вполне удовлетворительное.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ – удовлетворительное</p>

Продолжение таблицы 8.3

СК, %	Состояние бетона и арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (СН 1.04.01-2020)
26–36	<p>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 %.</p> <p>Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,35 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры диаметрами 10–22 мм соответственно на 14–6 %.</p> <p>Образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры диаметрами ≥ 16 мм, образование волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры с недостаточной толщиной защитного слоя бетона.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное. СК = 30...36 %.</p> <p>Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,55 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения арматуры диаметрами 10–22 мм соответственно на 21–10 %. Раскрытие волосяных трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) – не вполне удовлетворительное</p>
36–47	<p>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 %.</p> <p>Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 0,8 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры диаметрами 10–22 мм соответственно на 30–14 %; уменьшение (критическое) площади поперечного сечения на 30 % арматуры диаметром 10 мм.</p> <p>Интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры.</p> <p>Отслаивание защитного слоя на отдельных участках в зоне расположения стальной арматуры диаметрами ≤ 12 мм.</p> <p>Разрушение защитного слоя бетона на отдельных участках в местах недостаточной его толщины, оголение и коррозия стальной арматуры средней степени интенсивности.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК), с рабочей стальной арматурой диаметрами ≤ 10 мм – неудовлетворительное, с рабочей стальной арматурой диаметрами 12–22 мм – не вполне удовлетворительное СК = 40...47 %.</p> <p>Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 1,15 мм на многочисленных участках, уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры диаметрами 10–22 мм соответственно на 41–20 %, уменьшение (критическое) площадей поперечного сечения на 41–31 % стальной арматуры диаметрами соответственно 10–14 мм.</p> <p>Интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры, отслаивание защитного слоя на многочисленных участках.</p> <p>Разрушение защитного слоя бетона на отдельных участках в местах недостаточной его толщины, оголение и коррозия стальной арматуры средней степени интенсивности.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК), с рабочей стальной арматурой диаметрами ≤ 14 мм – неудовлетворительное, с рабочей стальной арматурой диаметрами 16–22 мм – не вполне удовлетворительное</p>

Окончание таблицы 8.3

СК, %	Состояние бетона и арматуры. Техническое состояние железобетонного элемента (СН 1.04.01-2020)
47–74	<p>Деградация бетона высокой степени интенсивности.</p> <p>IV степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры.</p> <p>СК = 47...57 %.</p> <p>Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 1,60 мм на многочисленных участках, уменьшение (критическое) площадей поперечного сечения стальной арматуры диаметрами 10–22 мм соответственно на 54–27 %.</p> <p>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 диаметром 10 мм.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой диаметра 10 мм – неудовлетворительное (предаварийное); диаметрами 12–20 мм – неудовлетворительное, с рабочей стальной арматурой диаметром 22 мм – не вполне удовлетворительное.</p> <p>СК = 57...74 %.</p> <p>Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной до 2,30 мм на многочисленных участках, уменьшение (критическое) площадей поперечного сечения на 71–38 % стальной арматуры диаметрами соответственно 10–22 мм.</p> <p>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.</p> <p>Полное разрушение на отдельных участках стальной арматуры диаметрами до 12 мм.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой диаметрами 10–14 мм – неудовлетворительное (предаварийное); арматурой диаметрами 16–22 – неудовлетворительное</p>
Св. 74	<p>Полная деградация бетона. Потеря сцепления цементного камня с заполнителем.</p> <p>V степень карбонизации бетона, потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре и коррозии стальной арматуры.</p> <p>Возникновение сплошной коррозии стальной арматуры глубиной более 2,30 мм, уменьшение (критическое) площади поперечного сечения на 34 % стальной арматуры диаметром 25 мм.</p> <p>Интенсивное раскрытие трещин в местах расположения рабочей и конструктивной стальной арматуры, массовое отслаивание защитного слоя бетона.</p> <p>Полное разрушение защитного слоя бетона на многочисленных участках, оголение и коррозия высокой степени интенсивности стальной арматуры. Полное разрушение стальной арматуры диаметрами до 12 мм на многочисленных участках.</p> <p>Техническое состояние ЖБЭ (ЖБК) с рабочей стальной арматурой диаметрами 10–16 мм – предаварийное; арматурой диаметрами 18–22 – неудовлетворительное</p>

8.3 Комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, с учетом карбонизации бетона

На основании исследования изменения во времени по сечению ЖБЭ и ЖБК физико-химических показателей бетона и их влияния на состояния стальной арматуры, в зависимости от условий эксплуатации элементов и конструкций, предложенных моделей карбонизации, назначенных «Критериев оценки технического состояния ЖБЭ и ЖБК с учетом карбонизации бетона», разработан комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях, с учетом карбонизации бетона, который, по сути, является дополнительным неразрушающим методом обследования ЖБЭ и ЖБК, эксплуатирующихся в различных воздушных средах.

Он представляет собой набор методик и его укрупненная структурная схема приведена на рисунке 8.17.

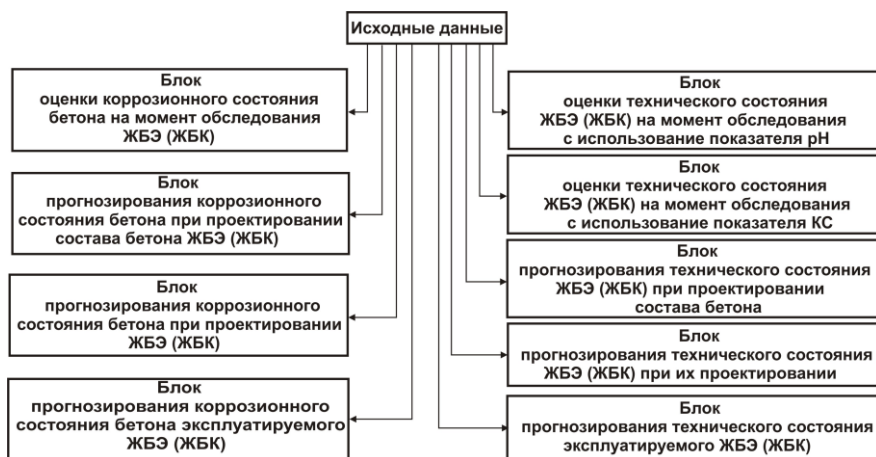


Рисунок 8.17 – Структурная схема комплексного метода оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК), эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях, с учетом карбонизации бетона

Предлагаемый комплексный метод позволяет:

- оценивать и прогнозировать изменение во времени по сечению ЖБЭ и ЖБК карбонизацию бетона (карбонатную составляющую);
- оценивать и прогнозировать изменение во времени по сечению ЖБЭ и ЖБК степень карбонизации бетона;

– оценивать и прогнозировать изменение во времени по сечению бетона ЖБЭ и ЖБК состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре;

– на основании полученных результатов по предложенным расчетно-экспериментальным моделям изменения во времени по сечению бетона показателей карбонизации и «Критериям оценки технического состояния ЖБЭ и ЖБК с учетом карбонизации бетона» оценивать и прогнозировать техническое состояние ЖБЭ и ЖБК.

Вышеперечисленные параметры можно оценивать и прогнозировать как на стадии проектирования, так и для эксплуатируемых ЖБЭ и ЖБК. Кроме того, выполненные исследования позволяют оценивать и прогнозировать карбонизацию не только типовых составов бетона, но и модифицированных (оценивать действие различных добавок), разрабатывать регрессионные зависимости карбонизации бетона от количества использованного цемента и др.

9 ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Задача оценки остаточного ресурса зданий и сооружений (их отдельных элементов и конструкций) в Республике Беларусь в настоящее время является одной из самых актуальных. Ее злободневность усугубляется тем, что на сегодняшний день в стране значительная часть зданий и сооружений эксплуатируется длительные сроки (зачастую превышающие проектные, нормативные), при этом с пропущенными (по различным причинам) капитальными ремонтами.

Строительная отрасль, как и любая другая отрасль промышленности, характеризуется наличием аварийных ситуаций. Статистика показывает, что примерно в 80 % случаев строительных аварий с обрушением несущих конструкций объекта происходит в результате человеческих ошибок, допущенных при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений. Эти ошибки формируют внутренний (объектный) риск аварии, от величины которого зависит не только срок службы (ресурс) объекта, но и размер ущерба в случае его аварии. Внутренний (объектный) риск аварии определяется уровнем надежности конструктивных элементов и здания (сооружения) в целом.

Для зданий (сооружений) основным видом безопасности является конструкционная, характеризующая способность несущего каркаса объекта воспринимать действующие нагрузки и воздействия, трактуемая как отсутствие в нем недопустимого риска аварии.

Уровень конструкционной безопасности (надежности) считается достаточным, если фактический риск аварии объекта (конструкции) находится в области приемлемых значений.

Под надежностью строительных конструкций понимается сохранение во времени установленного нормами их качества: несущей способности, долговечности, устойчивости и деформативности.

Остаточный ресурс – период эксплуатации объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Предельным состоянием называется состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Оценка остаточного ресурса зданий и сооружений – важнейший элемент оценки и прогнозирования их долговечности. Ею занимались и занимаются ученые различных стран. Значительный вклад в разработку методов оценки остаточного ресурса и их модернизацию внесли многочисленные ученые и исследователи, что нашло отражение в работах В. А. Соколова, А. Х. Байбурина, Н. А. Бузало, А. В. Рыкова, М. Н. Шутовой, А. И. Субботина, А. В. Перельмутера, С. И. Евтушенко, В. П. Чиркова, Н. П. Соснина, А. П. Мельчакова, С. П. Суцева, Н. А. Самолинова, И. А. Адаменко, Г. Х. Самигуллина, М. М. Султанова, А. Л. Кузьмина, Р. М. Галлеева, М. Б. Пермякова, С. Б. Шматкова [56–73] и многих других.

В настоящее время основные подходы к определению остаточного ресурса, как физико-механической характеристики зданий и сооружений, связаны с использованием детерминированных расчетов и теории вероятности.

9.1 Вероятностный подход к оценке остаточного ресурса зданий и сооружений

Основные принципы методов на основе теории вероятности:

- целью выполнения расчетов является обеспечение адекватного уровня надежности;

- внешние условия эксплуатации конструкции считаются случайными процессами;

- за основной показатель надёжности принимается вероятность пребывания параметров системы в некоторой допустимой области, нарушение нормальной эксплуатации приводит к выходу из этой области;

- выход конструкции из строя является, как правило, следствием постепенного накопления повреждений;

- элемент может рассматриваться как имеющий единственный доминирующий вид отказа. Система может иметь больше, чем один вид отказа и/или состоять из двух или более элементов, каждый из которых имеет единственный вид отказа. Требования к надежности элементов должны зависеть от характеристик системы;

- установленные максимально допускаемые вероятности отказа должны зависеть от последствий и природы отказов, экономических потерь, социальных неудобств, затрат и усилий, требуемых для понижения вероятности отказа.

Они должны быть калиброваны в сравнении с хорошо изученными случаями, известными из прошлого опыта, для того чтобы иметь достаточную надежность. Следовательно, установленная вероятность отказа должна зависеть от класса надежности. Установленные вероятности отказов должны всегда определяться для некоторого периода повторяемости. В зависимости от типа предельного состояния он может быть рас-

четным сроком службы, периодом в один год или произвольным отрезком времени.

Данный подход позволяет рассчитывать остаточный ресурс по следующим признакам:

- срокам эксплуатации объектов-аналогов;
- изменению вероятности отказа объекта;
- изменению уровня промышленного риска или риска аварии;
- изменению надежности конструкции;
- вероятностному распознаванию категорий технического состояния конструкций.

Применение вероятностных методов требует значительного объема информации о внешних воздействиях, а также информации о материалах конструкций. Увеличение объема необходимой информации обеспечивает большую достоверность выводов о надёжности и долговечности зданий и сооружений.

При вероятностном подходе:

– внешние условия эксплуатации конструкции считаются случайными процессами;

– за основной показатель надёжности принимается вероятность пребывания параметров системы в некоторой допустимой области, нарушение нормальной эксплуатации приводит к выходу из этой области;

– выход конструкции из строя является, как правило, следствием постепенного накопления повреждений;

– оценка соответствия фактического риска аварии объекта предъявляемым требованиям конструкционной безопасности является составной частью определения остаточного ресурса.

Наиболее распространенным подходом к данному вопросу является использование принципа «безопасной эксплуатации по техническому состоянию». Определение остаточного ресурса осуществляется по определяющим параметрам технического состояния. В качестве последних принимаются параметры, изменение которых (в отдельности или в некоторой совокупности) может привести объект в неработоспособное или предельное состояние.

Параметрами технического состояния объекта служат:

- характеристики материалов (механические и химические);
- коэффициенты запасов прочности;
- технологические показатели.

Выбор ключевых параметров осуществляется по результатам анализа технической документации и результатов обследования. В отдельных случаях допустимо использовать результаты экспертной оценки, которая обязательно должна включать анализ условий эксплуатации, инструментальный контроль и поверочные расчеты.

Необходимо отметить, что все вышеописанные методы имеют ограниченную область применения, а также не учитывают таких существенных при определении остаточного ресурса факторов, как:

- резкое изменение условий эксплуатации и возможное воздействие особых нагрузок;
- наличие скрытых дефектов конструкций;
- качество изготовления конструкций;
- скорость деградации материалов конструкций и ее изменение.

Влияние негативных факторов снижается следующим образом:

- резкое изменение условий эксплуатации и возможное воздействие особых нагрузок – путем введения коэффициента надежности, определяемым на основании анализа текущих условий эксплуатации;
- наличие скрытых дефектов конструкций и качество их изготовления путем введения понижающего коэффициента;
- скорость деградации характеристик материалов конструкций определяется в рамках научно-технического сопровождения строительства путем проведения периодического инструментального контроля отдельных показателей строительных конструкций.

9.2 Детерминированный подход к оценке остаточного ресурса зданий и сооружений

Основные принципы методов на основе детерминированных расчетов:

- к данным методам относятся методы исследования, в которых зависимость между рассматриваемыми признаками строго задана или детерминирована (определена), поэтому исследование приводит к однозначным выводам. Причем именно жесткость отношений и выводов является отличительной чертой детерминированных методов;
- имеется достоверная информация о техническом состоянии конструкции;
- многочлен слишком низкой степени даёт грубое описание эмпирического материала, а многочлен высокой степени не будет сглаживать шумы эксперимента;
- выбор оптимальной степени многочлена основывается на допущении, что искомая функциональная зависимость с достаточным приближением может быть представлена многочленом некоторой степени n и что измеренные значения содержат только случайные ошибки;
- при накоплении достаточного экспериментального материала, более перспективно в смысле достижения объективной оценки величины остаточного ресурса использование случайных функций.

Данный подход позволяет рассчитывать остаточный ресурс по следующим признакам:

- изменению параметров несущей способности конструкции;
- изменению параметров технического состояния;
- степени физического износа;

- нормативам сроков эксплуатации до капитального ремонта;
- определению коэффициента запаса по видам предельных состояний.

При оценке остаточного ресурса здания в детерминированной постановке нет точного вида формулы, а выбираются готовые формулы, обычно многочлены различной степени. Однако многочлен слишком низкой степени даёт грубое описание процесса, а многочлен высокой степени не будет сглаживать отклонения. Зависимость, отображающая характер убывания функциональных качеств конструкции, должна быть достаточно обоснована.

Волевой порядок выбора такой зависимости должен учитывать (при отсутствии или недостаточности информационного материала) хотя бы логически процесс потери способности конструкции с течением времени выполнять свои функции. В противном случае экстраполяция выбранного закона поведения конструкции по рассматриваемому параметру вплоть до её предельного состояния может привести к существенным ошибкам, иногда с тяжёлыми последствиями.

Приведенные методы, имеющие множество достоинств (обоснованность, детальная проработка, простота применения) также несут в себе ряд существенных недостатков, которые связаны с постепенным старением использованных при их разработке методологических и нормативных предпосылок, что обуславливает необходимость дальнейшего изучения и нахождения более точной методики определения остаточного ресурса.

Детерминированная модель оценки остаточного ресурса на данный момент имеет наибольшее распространение. Это является следствием её относительно небольшой трудоемкости при решении определенных задач.

9.3 Методика расчета остаточного ресурса несущих конструкций

Данная методика позволяет выполнить расчетный прогноз остаточного ресурса несущих конструкций на стадии эксплуатации. В общем случае остаточный ресурс эксплуатируемой конструкции определяется ее перерасчетом на основании фактических и прогнозируемых характеристик материалов.

В качестве базовой концепции оценки остаточного ресурса несущей конструкции принят подход, основанный на принципе безопасной эксплуатации по техническому состоянию. Согласно ему оценку технического состояния конструкции осуществляют по параметрам технического состояния, обеспечивающим ее надежную и безопасную эксплуатацию согласно действующим нормативным и конструкторской документации, а остаточный ресурс – по определяющим параметрам технического состояния.

В качестве определяющих параметров технического состояния для оценки остаточного ресурса приняты в общем случае параметры, изменение которых (в отдельности или в некоторой совокупности) может привести конструкцию в неработоспособное или предельное состояние.

В зависимости от критериев предельного состояния и условий эксплуатации параметрами ее технического состояния могут служить:

- характеристики материалов (механические характеристики: предел текучести, предел прочности, твердость, трещиностойкость, пределы выносливости, длительной прочности, ползучести и т. д., химический состав, характеристики микроструктуры и т. д.);

- несущая способность конструкции (с учетом имеющихся граничных условий, нагрузок и возможных типов разрушений);

- характеристики нагрузок и воздействий (температура, давление, динамика и т. д.).

В качестве основного параметра технического состояния конструкции для оценки ее остаточного ресурса принимают, как правило, несущую способность конструкции. В данном случае несущую способность конструкций определяют в зависимости от вида их материала согласно требованиям действующих нормативных документов.

Оценку параметров технического состояния и выбор определяющих параметров осуществляют по результатам анализа технической документации, экспертного обследования, данных мониторинга (при наличии).

По сравнению с предусмотренной в нормативно-технической и конструкторской (проектной) документации может вводиться дополнительная система критериев предельного состояния, переход в которое определяет остаточный ресурс рассматриваемой конструкции.

Прогнозирование остаточного ресурса в общем случае осуществляется согласно закономерностям изменения определяющих параметров, полученным при анализе механизмов развития повреждений и (или) по результатам измерения функциональных показателей. На основании полученных оценок принимается решение о дальнейшей эксплуатации конструкции.

9.3.1 Основные предпосылки к расчетному подходу по оценке остаточного ресурса

При эксплуатации несущей конструкции рассматривают три этапа эксплуатации. Первый этап – период приработки конструкции. Второй этап – время работоспособной работы конструкции, третий этап – достижение предельного срока службы конструкции (рисунок 9.1).

На первом этапе эксплуатации, когда построенная конструкция эксплуатируется некоторое время без снижения надежности (период приработки). За этот период протекают основные длительные деформации конструкций (например, ползучесть), возрастает прочность бетона, нормально функционируют системы водоотведения и гидроизоляция и т. п.

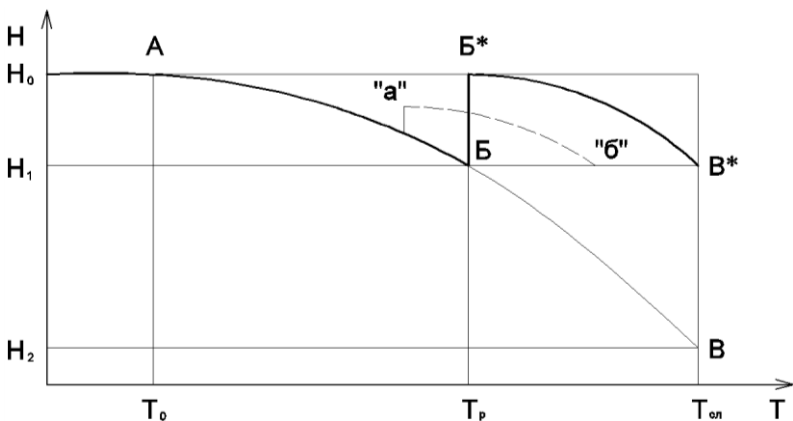


Рисунок 9.1 – График снижения надежности (H) конструкции:
 T_0 – период приработки; T_p – работоспособность; $T_{ср}$ – предельный срок службы

На данном этапе вероятность безотказной работы конструкции сохраняется на высоком уровне: $P(t) = 0,9986$. В течение указанного периода за конструкцией осуществляются только содержание и профилактические работы. Выполнение работ по содержанию и профилактике конструкции в целом выполняется согласно [46]. Продолжительность этого периода зависит от качества изготовления и монтажа конструкций (рисунок 9.1, точка А). Второй этап эксплуатации характеризуется появлением и развитием дефектов, изменением свойств материалов конструкции, развитием коррозии. Появляются отказы в элементах конструкции, срок службы которых ниже (покрытие, деформационные швы, изоляция и т. п.). Дефекты и отказы влияют на несущую способность конструкции. Конструкция продолжает эксплуатироваться в прежнем режиме, т. е. без каких-либо ограничений, хотя ее надежность постепенно снижается (см. рисунок 9.1, линия А–Б).

Продолжительность второго этапа определяется временем, за которое вероятность безотказной работы конструкции снижается с 0,9986 до 0,9000. В этот период за конструкцией ведется уход и проводятся плановые профилактические работы, а также локальный ремонт в рамках работ по содержанию. Продление указанного этапа возможно при проведении планово-предупредительных работ (ППР) (см. рисунок 9.1, линия "а"–"б").

Снижение вероятности безотказной работы конструкции в течение второго этапа (см. рисунок 9.1, точка Б) означает, что дальнейшая эксплуатация конструкции по первоначальной схеме невозможна и конструкция подлежит ремонту. В случае, если выполнение ремонта задерживается или перенесено на более поздний срок, то допускается дальнейшая временная эксплуатация конструкции (до проведения ремонта)

при обязательном изменении условий ее нагружения (т. е. при введении ограничений по временной нагрузке).

Третий этап эксплуатации конструкции характеризуется двумя факторами:

- наличием дефектов, снижающих их несущую способность;
- введением ограничений по нагрузкам и воздействиям на конструкцию и периодическим последующим снижением их величин с целью обеспечения требуемой надежности.

Продолжительность третьего этапа (см. рисунок 9.1, участок Б–В) определяется временем, необходимым для достижения конструкцией такого состояния, когда, при максимально возможных ограничениях по временной нагрузке, вероятность безотказной ее работы снова достигает $P = 0,9$. На третьем этапе эксплуатации конструкции обязательно должен быть выполнен ее ремонт, не дожидаясь наступления момента В (см. рисунок 9.1), или предпринята серия ремонтных мероприятий (определяется экономическими расчетами), включая планово-предупредительные работы, цель которых – переместить момент времени ремонта конструкции или ее восстановления, в т. ч. за счет изменения темпов деградации материалов.

Уровни надежности в общем случае определяются основными принципами подхода к расчету по оценке остаточного ресурса несущей конструкции. В настоящей методике рассматриваются два основных уровня надежности: H_1 и H_2 (см. рисунок 9.1).

Уровень H_1 характеризуется достаточным значением вероятности безотказной работы конструкций ($P = 0,9$) в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню соответствует временной отрезок T_p , называемый работоспособным периодом (условно – работоспособностью) и определяемый для проектируемых, строящихся или недавно построенных сооружений. При достижении уровня H_1 снижается несущая способность конструкции или выполняется ее ремонт.

Уровень H_2 характеризуется пониженным значением вероятности безотказной работы в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню соответствует предельный износ конструкции, а ее дальнейшая эксплуатация недопустима даже при пониженной эксплуатационной нагрузке. Первое снижение допустимой нагрузки происходит в возрасте конструкций до T_p . Последующие снижения нагрузки возможны на участке Б–В (Б*–В*) (см. рисунок 9.1), что может продлить период эксплуатации до достижения уровня H_2 .

Критерием невозможности эксплуатации несущей конструкции преимущественно принимают исчерпание ее несущей способности. При необходимости в качестве данного критерия могут быть приняты иные параметры технического состояния конструкции.

Уровни надежности H_1 и H_2 также могут быть охарактеризованы соответствующей величиной индекса надежности β , являющейся аргументом функции (Φ) вероятности наступления отказа. Величины индекса надежности β принимают в общем случае с учетом уровня ответственности здания или сооружения, в котором находятся рассматриваемые конструкции, расчетной ситуации и других факторов. Допускается назначать индексы надежности β согласно таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Рекомендуемые минимальные значения индекса надежности β для предельных состояний по несущей способности

Класс сложности здания (сооружения)	Минимальные значения для β при базовом периоде	
	1 год	50 лет
К-1	5,2	4,3
К-2	4,7	3,8
К-3	4,2	3,3

Остаточный ресурс эксплуатируемой конструкции определяется периодом эксплуатации до достижения предельного износа. Момент наступления предельного износа (момент невозможности дальнейшей эксплуатации) устанавливают, как правило, на основании графика снижения несущей способности, построенного по результатам перерасчета конструкции.

При перерасчете конструкции учитывают:

- деградацию материала конструкции (изменение прочности сечения);
- прогноз изменения характеристик материалов конструкции на момент t_i (прогноз изменения прочности на сжатие, растяжение, сдвиг и т. п., изменения площади сечения, включая коррозионные процессы);
- изменение граничных условий и жесткости конструкции;
- иные факторы, которые могут оказать влияние на величину остаточного ресурса конструкции.

Деградация свойств материалов в конструкции вызывается неблагоприятной комбинацией воздействий статически и динамически действующих внешних сил и внутренних самоуравновешивающихся полей напряжений.

Деградация структуры материалов конструкции зависит главным образом от комбинации силовых полей в конструкции. С учетом этого принятая в действующих нормативных документах методика оценки надежности в форме сопоставления комбинации суммарных напряжений с предельными значениями прочности, изменяющейся во времени, может быть использована и в оценке остаточного ресурса конструкции.

При этом учитывают, что величины напряжений, как и надежность, изменяются во времени вследствие деструктивных процессов в материалах конструкции, изменений деформативных свойств и др.

При оценке остаточного ресурса для различных видов несущих конструкций и их материалов могут быть применены различные виды моделей, описывающих деградационные процессы.

При оценке остаточного ресурса рассматривают различные возможные модели отказов (износа). Отказы возникают в различных комбинациях и сочетаниях. Вероятность их реализации в разных конструкциях различна.

Основная часть предсказуемых износов относится к категориям медленно протекающих, постепенных отказов. Они могут быть своевременно обнаружены и приостановлены или устранены в результате ремонта.

9.3.2 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций

Основными этапами определения остаточного ресурса несущей конструкции являются:

- анализ исходной технической документации;
- оценка технического состояния;
- анализ результатов оценки технического состояния (включая установление критериев предельных состояний и выбор определяющих параметров технического состояния);
- определение остаточного ресурса.

В рамках анализа исходной технической документации устанавливают номенклатуру технических параметров конструкции, устанавливают предельные состояния, выявляют наиболее вероятные отказы и повреждения, которые могут привести к отказу конструкции. Особое внимание должно быть уделено анализу критериев, причин, последствий и критичности отказов, выявлению возможных постепенных, деградационных и зависимых отказов, подтверждению отсутствия возможности внезапных отказов.

Аналізу подлежат: нормативно-техническая, конструкторская (проектная) и эксплуатационная, в том числе монтажная и ремонтная документация. Кроме того, следует проанализировать базу данных по техническим параметрам конструкции или составленные ранее аналогичные технические заключения по результатам анализа технического состояния конструкции или его мониторинга при их наличии. Также в процессе анализа может быть рассмотрена иная научно-техническая информация по отказам и повреждениям по аналогичным конструкциям.

По результатам анализа исходной технической документации составляют:

- перечень проанализированной документации;
- схему конструкции с указанием элементов и участков, которые в результате особенностей их конструкторской или технологической реализации и (или) условий функционирования и нагруженности представляются наиболее предрасположенными к появлению повреждений и (или) отказам (в особенности скрытым, зависимым и внезапным);
- перечень технических параметров конструкции;
- программу оценки технического состояния конструкции.

В качестве исходных данных для приближенной оценки остаточного ресурса несущих конструкций используют результаты визуального обследования, выполняемого согласно [46, 47].

В общем случае оценку технического состояния конструкции выполняют согласно [46].

В рамках оценки технического состояния конструкции получают информацию о реальном техническом состоянии конструкции, наличии в ней повреждений, выявлении причин и механизмов их возникновения и развития.

Оценку технического состояния выполняют в соответствии с программой, разработанной на основании анализа технической документации. Программой, как правило, предусматривают:

- визуальный контроль;
- измерения геометрических параметров, включая толщинометрию;
- замеры твердости и определение механических характеристик материалов, металлографические исследования, определение химического состава металла, дефектоскопический контроль, вид и объем которого устанавливается с учетом требований полноты и достаточности выявления дефектов и повреждений рассматриваемой конструкции;
- испытания на прочность (с испытанием контрольных образцов, с применением неразрушающих методов, методов тензочувствительных покрытий, тензометрии, акустической эмиссии, термографии и др.).

Анализ результатов оценки технического состояния конструкции должен включать:

- оценку фактической нагруженности конструкции, выполненную расчетным методом по действующим нормативным документам с учетом всех режимов нагружения и действующих нагрузок (включая температурные воздействия), фактической геометрии конструкции, фактических толщин ее несущих элементов, имеющихся и выявленных концентраторов напряжений и экспериментальных результатов исследований напряженно-деформированного состояния, полученных при ее обследовании;
- установление механизмов образования и роста обнаруженных дефектов и повреждений, возможных отказов (постепенных, деградиационных, внезапных, включая их категории, последствия и критичность) вследствие развития дефектов и повреждений, при этом особое внимание должно быть уделено подтверждению отсутствия возможности внезапных отказов, при которых нельзя прогнозировать остаточный ресурс;
- оценку параметров технического состояния объекта, их соответствие требованиям действующих нормативных документов и конструкторской документации, а по отклонению от требований – выбор определяющих параметров технического состояния;
- установление при необходимости, уточненной, по сравнению с указанной в действующей нормативной документации, системы предельных состояний и их критериев (например, уровень прогрессирующего формо-

изменения, возникновение предельно допустимых трещин, уровень течи перед разрушением и т. д.);

– заключение о необходимости дальнейших уточненных расчетов и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов;

– заключение о возможности дальнейшей эксплуатации конструкции с установлением назначенного ресурса (до проведения уточненных расчетов и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния, характеристик материалов и оценки остаточного ресурса) в случае отсутствия повреждений, влияющих на параметры технического состояния объекта.

Результаты анализа оценки технического состояния оформляют в виде технического заключения с решением о продолжении дальнейших исследований напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов или возможности дальнейшей эксплуатации с указанием назначенного ресурса. Также в рамках анализа результатов оценки технического состояния конструкции могут быть выполнены уточненные расчеты и исследования напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов.

В рамках выполнения уточненных расчетов и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов получают дополнительную (а также отсутствующую в технической документации) информацию о номинальных и местных напряжениях и деформациях с учетом фактических свойств материалов, необходимую для установления механизмов повреждений и (или) расчетов остаточного ресурса.

Уточненные расчеты проводят с учетом всех режимов и действующих нагрузок за период эксплуатации (включая температурные воздействия и взаимодействие с внешней средой), а также возможным изменением характеристик материалов.

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния, выполненные по действующим нормативным документам, не регламентированным непосредственно для обследуемой конструкции, должны быть проверены экспериментальными методами (тензометрии, тензочувствительных покрытий, термометрии, акустической эмиссии и т. д.), которые в отдельных случаях (например, при отсутствии достаточно точных или апробированных на практике методов для сложных расчетов) могут использоваться самостоятельно. При этом могут применяться (при достаточном теоретическом и экспериментальном обосновании) методы моделирования и ускоренные методы испытания.

Определение уточненных характеристик материалов должно проводиться с учетом необходимой точности и объемов контроля неразрушающими методами или на образцах, вырезанных из элементов конструкции в соответствии с программами исследований, составленными с

учетом обнаруженных повреждений и условий эксплуатации элемента конструкции. Перечень характеристик материала должен быть расширен и включать, кроме стандартных прочностных свойств, в зависимости от условий эксплуатации характеристики малоцикловой и многоцикловой усталости, длительной прочности, трещиностойкости, сопротивления коррозии и коррозионному растрескиванию и др.

Испытания образцов и определение характеристик материалов должны осуществляться в соответствии с действующими НД.

По результатам уточненных расчетов и исследования напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов должны быть уточнены механизмы повреждений, параметры технического состояния, установлены определяющие параметры технического состояния и критерии предельных состояний.

Категории технического состояния в общем случае принимают согласно [46]. Категории технического состояния и соответствующие относительные надежности конструкции приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Категории технического состояния несущих конструкций

Категория технического состояния (СН 1.04.01-2020)	Описание технического состояния	Средняя относительная надежность $\gamma_{ср}$
I	<i>Исправное (хорошее) техническое состояние.</i> 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	1,00
II	<i>Работоспособное (удовлетворительное) техническое состояние.</i> 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 допускается без ограничений до очередного обследования в установленные сроки	0,95

Окончание таблицы 9.2

Категория технического состояния (СН 1.04.01-2020)	Описание технического состояния	Средняя относительная надежность $u_{ср}$
III	<p><i>Ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) техническое состояние.</i></p> <p>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 с оценкой степени ее нагруженности ($СН < 0,95$), а также разработка мероприятий по ремонту и, при необходимости, усилению конструкции</p>	0,85
IV	<p><i>Неработоспособное (неудовлетворительное) техническое состояние.</i></p> <p>Свидетельствует о значительной степени поврежденности конструкции или ее перегрузке ($СН > 1$), 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</p>	0,75
V	<p><i>Предельное (предаварийное) техническое состояние.</i></p> <p>Характеризуется 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</p>	0,65

Остаточный ресурс конструкции необходимо устанавливать на основе совокупности имеющейся информации прогнозированием его технического состояния по определяющим параметрам до достижения предельного состояния.

На первой стадии прогнозирования остаточного ресурса должно быть установлено, что в результате проведенных обследований и анализов технического состояния выполнены одновременно следующие условия:

- известны параметры технического состояния объекта, в частности, определяющие параметры технического состояния, изменяющиеся соответственно выявленному механизму повреждения элементов объекта;
- установлены критерии предельных состояний объекта, достижение которых возможно при развитии выявленных повреждений.

Прогнозирование остаточного ресурса может быть выполнено упрощенными или точными методами. Выбор способа прогнозирования остаточного ресурса зависит от периодичности контроля за конструкцией.

При непрерывном (или дискретном) контроле за параметрами технического состояния могут допускаться упрощенные методы, при которых прогнозирование осуществляют по одному параметру технического состояния.

Упрощенные методы прогнозирования могут использоваться, например, при прогнозировании остаточного ресурса:

- конструкции, работающей в условиях статического нагружения и коррозионной среды, несущая способность которой снижается вследствие уменьшения толщины (когда основной повреждающий фактор – общая коррозия);

- конструкции, работающей в условиях циклического нагружения при отсутствии коррозионной среды, несущая способность которой снижается вследствие малоциклового усталости;

- конструкций по функциональным параметрам, когда имеется объем информации по параметрам за период эксплуатации, достаточный для экстраполяции этих значений на последующий период эксплуатации, при выполнении условий безопасной эксплуатации данных конструкций.

В общем случае выбор метода должен обосновываться точностью и достоверностью полученных данных, а также требованиями точности и достоверности прогнозируемого остаточного ресурса конструкции и риска, связанного с его дальнейшей эксплуатацией, наличия и точности системы контроля за его техническим состоянием.

В качестве основного показателя остаточного ресурса в результате прогноза определяют наработку до отказа T , при заданной вероятности безотказной работы $P(t)$ или по индексу надежности β , в виде функции вероятности безотказной работы в течение этой наработки.

Величину вероятности $P(t)$ выбирают в зависимости от назначения, степени ответственности и режима использования конструкции. Если переход конструкции в предельное состояние (ресурсный отказ) связан с опасностью для жизни и здоровья людей, со значительными экологическими последствиями, с отсутствием непрерывного контроля за техническими параметрами, то продолжительность эксплуатации следует нормировать заданным назначенным ресурсом, опираясь при этом на полученные показатели остаточного ресурса.

Остаточный ресурс несущей конструкции (годы) определяют по формуле

$$T_p = \frac{k}{\lambda}, \quad (9.1)$$

где T_p – остаточный ресурс, лет; k – коэффициент, принимаемый 0,16 – при определении остаточного ресурса до капитального ремонта, 0,22 – при определении остаточного ресурса до аварийного состояния; λ – по-

стоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности на момент обследования,

$$\lambda = \frac{-\ln y_{\text{сп}}}{t_i}, \quad (9.2)$$

где $y_{\text{сп}}$ – средняя относительная надежность; t_i – срок службы в годах, на момент проведения обследования.

На основании данных по оценке технического состояния конструкции и остаточного ресурса должно приниматься обоснованное решение о возможности дальнейшей ее эксплуатации в соответствии с остаточным или назначенным ресурсом или его ремонте, снижении рабочих параметров, демонтаже. Решение принимается организацией, проводившей техническое диагностирование и оценку остаточного ресурса.

Результаты выполненных расчетов по прогнозированию остаточного ресурса должны оформляться в виде отчета.

9.4 Методы экспертных оценок

Экспертные исследования могут иметь как самостоятельное значение, так и использоваться при проверке истинности (верификации) логических исследований и моделирования. Данная группа методик отличается большим разнообразием подходов, зачастую должным образом не обоснованных. Прогнозные экспертные оценки отражают индивидуальность суждения специалистов относительно категории технического состояния, степени физического износа и остаточного ресурса конструкций и здания в целом и основаны на мобилизации профессионального опыта и интуиции.

Экспертные методы исследований используют в следующих случаях:

- когда объект или явление либо полностью, либо частично не поддается предметному описанию или математической формализации;
- в условиях отсутствия достаточно представительной и достоверной статистики по характеристикам объекта;
- в условиях большой неопределенности среды функционирования объекта, особенно рыночной среды;
- при средне- и долгосрочном прогнозировании новых рынков, объектов новых областей промышленности, подверженных сильному влиянию инноваций;
- в случаях, когда или время, или средства, выделяемые на прогнозирование и принятие решений, не позволяют исследовать проблему с применением формальных моделей;
- отсутствуют необходимые технические средства моделирования, например, вычислительная техника с соответствующими характеристиками;
- в экстремальных ситуациях.

Общепринятым методом экспертной оценки остаточного ресурса зданий и сооружений, признанным Ростехнадзором, является, метод, разработанный ЦНИИ Промзданий для оценки надежности строительных конструкций по внешним признакам [56]. В соответствии с ним оценка остаточного ресурса осуществляется по результатам общего обследования элементов (конструкций). В предлагаемом методе общая оценка поврежденности здания (сооружения) выполняется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_n \varepsilon_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n}, \quad (9.3)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ – максимальные повреждения отдельных видов (элементов) конструкций (по результатам детального обследования); $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – коэффициенты значимости отдельных видов элементов (конструкций).

При оценке величин повреждений учитывают их максимальную величину, так как авария здания или сооружения обычно происходит из-за наличия критического дефекта в отдельно взятой конструкции. Принято, с учетом нормативных документов Республики Беларусь, для исправного (хорошего) технического состояния $\varepsilon = 0,000\dots0,005$, работоспособного (удовлетворительного) $\varepsilon = 0,05\dots0,15$, ограниченно работоспособного (не вполне удовлетворительного) – $\varepsilon = 0,15\dots0,25$, неработоспособного (неудовлетворительного) – $\varepsilon = 0,25\dots0,35$. Для предельного (предаварийного) технического состояния – $\varepsilon > 0,35$.

При этом коэффициенты значимости строительных конструкций, основанные на экспертных оценках, определяются следующим образом: для плит перекрытия и покрытия $\alpha = 2$; балок – $\alpha = 4$; ферм – $\alpha = 7$; колонн – $\alpha = 8$; несущих стен и фундаментов $\alpha = 3$; прочих конструкций – $\alpha = 2$.

Относительная оценка надежности здания (сооружения)

$$y = 1 - \varepsilon. \quad (9.4)$$

Величина повреждения элементов (конструкций) через t лет эксплуатации

$$\varepsilon_t = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (9.5)$$

где λ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности на момент обследования,

$$\lambda = \frac{-\ln y}{t_\phi}, \quad (9.6)$$

где t_ϕ – срок службы в годах, на момент проведения обследования.

Срок службы здания (сооружения) с начала эксплуатации до капитального ремонта, лет,

$$T = \frac{0,16}{\lambda}. \quad (9.7)$$

Остаточный ресурс здания

$$T = t - t_{\phi}. \quad (9.8)$$

Срок эксплуатации элемента (конструкции) до аварийного состояния

$$T = \frac{0,22}{\lambda}. \quad (9.9)$$

Данная методика является достаточно простой (что немаловажно) и могла бы использоваться не только для оценки остаточного ресурса отдельных зданий и сооружений, но и при их укрупненной оценке в условиях района (города).

Однако при ближайшем рассмотрении появляются вопросы, основные из которых – назначение коэффициентов значимости конструкций; оценка постоянной износа.

Предлагаемые коэффициенты, а точнее их величины, вызывают логические противоречия:

- все фермы и колонны имеют одинаковую значимость в зданиях с разной высотой, различными количествами пролетов, без и с крановой нагрузкой;

- одинаковая значимость присвоена колоннам крайнего и среднего рядов; крайним и средним колоннам одного ряда, воспринимающим разные нагрузки;

- одинаковую значимость имеют фундаменты крайних и средних несущих стен;

- значимость несущих стен не зависит от количества этажей в здании.

Величины коэффициентов значимости возрастают по мере увеличения нагрузок, воспринимаемых элементами (конструкциями): плиты ($\alpha = 2$) – балки ($\alpha = 4$) – фермы ($\alpha = 7$) – колонны ($\alpha = 8$). Во-первых, логично было бы предположить продолжение данной цепочки для фундаментов: плиты ($\alpha = 2$) – балки ($\alpha = 4$) – фермы ($\alpha = 7$) – колонны ($\alpha = 8$) – фундаменты ($\alpha = 9$). Однако для фундаментов принят коэффициент $\alpha = 3$. Таким образом, получается, что значимость фундаментов в здании более чем в 2 раза меньше значимости колонн и ферм, опирающихся на них и несущих значительно меньшие нагрузки. Во-вторых, в однопролетных зданиях степень значимости балок и ферм практически уравнивается и т. д. Кроме того, интенсивность износа для различных зданий, инженерных сооружений и условий эксплуатации изменяется в довольно широких пределах. Так, в зависимости от степени агрессивности среды в соответствии с [60] скорость коррозии бетона варьируется в пределах от 0,4 до 4–6 мм/год, стальной арматуры – 0,4–1,8 мм/год. Кроме того, если в период нормальной эксплуатации для

расчетов можно принять постоянную величину λ , то с течением времени, по данным [61], она увеличивается в конце срока эксплуатации примерно в три раза, и возрастает с $\lambda = 0,003$ до $\lambda = 0,01$.

Для объективного расчета остаточного ресурса зданий (сооружений) необходимо совершенствование системы назначения коэффициентов значимости и разработка методики, учитывающей изменение интенсивности износа в процессе эксплуатации объектов строительства.

Коэффициенты значимости элементов (конструкций) необходимо назначать на основании экспертных оценок, учитывающих не только воспринимаемые ими нагрузки, но и социально-экономические последствия разрушения отдельных элементов (конструкций), характера разрушения (разрушения с предварительным оповещением посредством развития пластических деформаций или мгновенного хрупкого разрушения) и влияния разрушения на возможность обрушения соседних конструкций.

Учитывая вышеприведенное, Н. А. Бузало в [57] предложила новый подход к определению коэффициентов значимости конструктивных элементов, на основе определения энтропии, образуемой ими системы.

Данный подход рассматривает процесс обследования технического состояния здания как процесс получения совокупности сведений об элементах некоторой физической системы (X), которая может случайным образом оказаться в том, или ином состоянии, то есть системы, которой присуща некоторая степень неопределенности. При этом энтропия будет тем более значительна, чем неизвестнее информация о ней. То есть энтропия будет более информативна, а следовательно, и выше по значению, когда событие непредсказуемо и имеет большую неопределенность. Так, для более ответственных строительных конструкций энтропия, коэффициент значимости, будет больше, чем для конструкций, которые меньше несут нагрузки на все здание.

Энтропией системы называется сумма произведений вероятностей различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, взятая с обратным знаком:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \lg p_i \quad (9.10)$$

где X – значимость системы; p_i – вероятность отдельных событий; i – случайная величина; n – количество возможных состояний системы (1... n).

Таким образом, значимость системы X , то есть объекта обследования, может быть определена его энтропией. По аналогии со всем зданием энтропией может быть охарактеризована и значимость отдельных конструктивных элементов (КЭ), входящих в его состав. Для этого принято, что каждый конструктивный элемент здания образует отдельную систему, состоящую из базового КЭ (значимость которого определяется) и КЭ, формирующих область отказа (ОО). Под областью отказа понимается совокупность конструктивных элементов, отказ которых возникает в случае полного отказа базового КЭ. В общем случае базовый КЭ являет-

ся опорой (основанием) для элементов ОО. Так, для покрытия из профилированного настила элементом, входящим в ОО, будет кровля (утеплитель и кровельный материал). Для прогонов в ОО будут входить покрытие из профилированного настила и кровля. ОО для фермы включает прогоны, связи, профилированный настил, кровлю и т. п.

Для обеспечения сопоставимости КЭ, имеющих разные габаритные размеры, все КЭ разбиты на условные элементы (УЭ): для линейных конструктивных элементов (колонны, фермы, подкрановые балки, прогоны) – 1 пог. м конструктивного элемента; для плоскостных КЭ (кровля, стены, остекление) – 1 м² конструктивного элемента. При этом, если в плоскостных КЭ можно четко выделить несущую и ограждающую часть, их следует считать отдельными условными элементами. Так, для кирпичной стены с утепленным вентилируемым фасадом условными элементами будут 1 м² кирпичной кладки и 1 м² утепленного вентилируемого фасада. Для стен из многослойных сэндвич-панелей условным элементом будет только 1 м² такой стены; для ленточных и плитных фундаментов – 1 м² площади основания фундамента.

Предлагаемая методика расчета значимости предполагает следующие допущения для УЭ системы: каждый УЭ системы до начала обследования может находиться в одном из двух состояний: работоспособном или не работоспособном; оба состояния, в которых могут находиться элементы, являются равновероятными; возникновение одного из состояний условного элемента не зависит от состояния других элементов.

С учетом введенных допущений максимальная энтропия системы, создаваемой базовым элементом, может быть определена логарифмом числа состояний

$$H = \log_2 n \quad (9.11)$$

Так, для базовых элементов, не воспринимающих нагрузки от других КЭ, ОО отсутствует, и система будет состоять только из одного элемента, имеющего 2 состояния (работоспособное и неработоспособное).

$$H = \log_2 2 = 1 \quad (9.12)$$

Таким образом, коэффициент значимости ненесущих конструкций равен 1.

С учетом принятых допущений выражение для расчета коэффициента значимости конструктивных элементов

$$H = \log_2 \log_2 \left[\left(\sum S_i + S_{\phi_i} + l_i + l_{\phi_i} \right) S_{\phi} \right] \quad (9.13)$$

где S_i – площадь i -го условного элемента, м², вызывающего область отказа (для плоскостных элементов); S_{ϕ_i} – площадь базового i -го условного элемента, м² (для плоскостных элементов); l_i – длина i -го условного элемента, м, вызывающего область отказа (для линейных элементов); l_{ϕ_i} – длина базового i -го условного элемента, м (для линейных элементов); i – элемент, вызывающий область отказа условного элемента;

b – базовый элемент; $S_{\text{ф}}$ – площадь основания фундамента условного элемента, м^2 .

Предлагаемый подход имеет ряд достоинств, таких как простота применения (не требуется большой объем информации о конструкции); универсальность (учитываются габариты и конфигурация конструкции); отсутствие зависимости от материалов конструктивных элементов. Однако необходимо отметить, что расчет предлагается для одноэтажных каркасных зданий, то есть не учитывается такой фактор, как этажность здания.

На основании предложенного метода в НИЛ «ДИИСМиК» им. профессора И. А. Кудрявцева БелГУТа (Республика Беларусь) под руководством доц. А. А. Васильева были выполнены расчеты коэффициентов значимости элементов (конструкций) бескаркасных зданий с продольным и поперечным расположением несущих стен, различных размеров в плане (от 9×6 м до 12×36 м) и различной этажности (от 1 до 5 этажей) [62]. При расчете коэффициентов значимости были приняты следующие допущения: кирпичная кладка стены принималась укрупненно, как один плоскостной элемент пролета, то есть повреждение кирпичной кладки на участке приведет к его повреждению на данном пролете; при расчете коэффициентов поэтажно учитывалось цепное разрушение конструкции стен на вышележащих этажах («эффект домино»); для упрощения расчета площадь кровли скатной крыши принималась в проекции.

Расчеты производились при помощи таблиц MS Excel.

В качестве примера в таблице 9.3 приведены результаты расчета коэффициентов значимости конструкций двухэтажного здания со средней продольной несущей стеной, размерами в плане $10,2 \times 15,6$ м.

В таблице 9.3 приняты следующие условные обозначения: КЭ – конструктивный элемент; УЭ – условный элемент; К – кровля; С,С – стропильная система; ОО – область отказа; П – плита перекрытия; ПЧК (ПЧС) – плита чердачного перекрытия крайняя (средняя); ПрК (ПрС) – простенок крайний (средний); СНК (СНС) – стена несущая крайняя (средняя); СС – стена самонесущая; ФСНК (ФСНС) – фундамент стены несущей крайней (средней); ФСс – фундамент стены самонесущей.

Таблица 9.3 – Расчет коэффициентов значимости (α) для двухэтажного здания

КЭ	Расчет количества УЭ	Количество УЭ	Количество состояний системы	Коэффициент значимости, α
К	$S_{\text{кровли}} - 1 \text{ м}^2$	1,000	2,000	1,000
С,С	$S_{\text{кровли}} (\text{ОО}) = 5,1 \cdot 1 \cdot 2 = 10,2 \text{ м}^2$ $l_{\text{стропил}} - 5,1 \text{ м}$	15,30	30,60	4,935
ПЧК	$l_{\text{стропил}} (\text{ОО}) - 5,1 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}} (\text{ОО}) = 5,1 \cdot 2 = 10,2 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} = 5,1 \cdot 1 \cdot 5 = 7,65 \text{ м}^2$	22,95	45,90	5,520
ПЧС	$l_{\text{стропил}} (\text{ОО}) = 5,1 \cdot 2 = 10,2 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}} (\text{ОО}) = 5,1 \cdot 3 = 15,3 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} = 5,1 \cdot 1 \cdot 5 = 7,65 \text{ м}^2$	33,15	66,30	6,051

Окончание таблицы 9.3

КЭ	Расчет количества УЭ	Количество УЭ	Количество состояний системы	Коэффициент значимости, α
П	$S_{\text{пола}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 1,5 = 7,65 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} = 5,1 \cdot 1,5 = 7,65 \text{ м}^2$	15,30	30,60	4,935
2-й этаж				
СНК	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 5 = 25,5 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 = 21,42 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 \cdot 2 = 42,84 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 4,2 \cdot 2,75 = 11,55 \text{ м}^2$	101,31	202,62	7,663
СНС	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 10,2 \cdot 5 = 51 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 10,2 \cdot 4,2 = 42,84 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 10,2 \cdot 4,2 \cdot 2 = 85,68 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 4,2 \cdot 2,75 = 11,55 \text{ м}^2$	191,07	382,14	8,578
СС	$S_{\text{стены}} = 5,1 \cdot 2,75 = 14,025 \text{ м}^2$	14,025	28,05	4,810
ПрК	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 5 = 25,5 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 = 21,42 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 \cdot 2 = 42,84 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 4,2 \cdot 2,75 + 0,2 \cdot 14,025 = 14,36 \text{ м}^2$	104,115	208,23	7,702
ПрС	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 8 = 40,8 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 7,2 = 36,72 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 7,2 \cdot 2 = 73,44 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 7,2 \cdot 2,75 = 19,8 \text{ м}^2$	170,76	341,52	8,416
1-й этаж				
СНК	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 5 = 25,5 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 = 21,42 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 \cdot 2 \cdot 2 = 85,68 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 4,2 \cdot 2,75 \cdot 2 = 23,1 \text{ м}^2$	155,70	311,40	8,283
СНС	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 10,2 \cdot 5 = 51 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 10,2 \cdot 4,2 = 42,84 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 10,2 \cdot 4,2 \cdot 2 \cdot 2 = 171,36 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 4,2 \cdot 2,75 \cdot 2 = 23,1 \text{ м}^2$	288,30	576,60	9,171
СС	$S_{\text{стены}} = 5,1 \cdot 2,75 \cdot 2 = 28,05 \text{ м}^2$	28,05	56,10	5,810
ПрК	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 12 = 61,2 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot (4,2 + 7,2) = 58,14 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 \cdot 2 \cdot 2 + 5,1 \cdot 7,2 \cdot 2 = 159,12 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 4,2 \cdot 2,75 \cdot 2 + 7,2 \cdot 2,75 + 0,2 \cdot 14,025 \cdot 2 = 48,51 \text{ м}^2$	326,97	653,94	9,353
ПрС	$l_{\text{стропил}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 16 = 81,6 \text{ м}$ $S_{\text{кровли}}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 15,6 = 79,56 \text{ м}^2$ $S_{\text{плиты}} + \text{пол}(\text{ОО}) = 5,1 \cdot 4,2 \cdot 2 \cdot 2 + 5,1 \cdot 7,2 \cdot 2 \cdot 2 = 232,56 \text{ м}^2$ $S_{\text{стены}} = 7,2 \cdot 2,75 \cdot 2 + 4,2 \cdot 2,75 \cdot 2 = 62,7 \text{ м}^2$	456,42	912,84	9,834
ФСНК	Количество УЭ соответствующей	158,22	316,44	8,306
ФСНС	стены 1-го этажа + площадь осно-	290,82	581,64	9,184
ФСС	вания фундамента	31,11	62,22	5,959

Аналогично выполнено определение коэффициентов значимости конструкций для каркасных зданий, одно- и многопролетных, размерами от 6×18 до 36×72 м, с продольным и поперечным расположением плит покрытия.

Результаты расчетов и их сравнение с рекомендуемыми коэффициентами значимости конструкций представлены соответственно в таблицах 9.4 и 9.5.

Таблица 9.4 – Коэффициенты значимости (α) для бескаркасных зданий

Элемент	Коэффициент значимости, α	Рекомендуемый коэффициент значимости
<i>Бескаркасные здания с продольным расположением несущих стен</i>		
Кровля	1,000	2,000
Стропильная система	4,755–5,755	2,000
Плита перекрытия	4,935–5,755	2,000
Плита чердачного перекрытия крайняя	5,520–6,340	2,000
Плита чердачного перекрытия средняя	6,051–6,870	2,000
Стена самонесущая	4,810–7,629	2,000
Стена несущая крайняя	7,663–10,60	3,000
Стена несущая средняя	8,578–11,48	3,000
Простенок крайний	7,702–12,19	3,000
Простенок средний	8,416–12,34	3,000
Фундамент для стены несущей крайней	8,306–10,61	3,000
Фундамент для стены несущей средней	9,184–11,49	3,000
Фундамент для стены самонесущей	5,329–7,428	3,000
<i>Бескаркасные здания с поперечным расположением несущих стен</i>		
Кровля	1,000	2,000
Стропильная система	3,935–4,755	2,000
Плита перекрытия	4,635–5,755	2,000
Плита чердачного перекрытия крайняя	3,263–4,755	2,000
Плита чердачного перекрытия средняя	6,734–7,994	2,000
Стена самонесущая	4,138–7,951	2,000
Стена несущая крайняя	7,697–10,53	3,000
Стена несущая средняя	8,964–11,45	3,000
Простенок	7,760–10,62	3,000
Фундамент для стены несущей крайней	8,253–10,53	3,000
Фундамент для стены несущей средней	9,186–11,45	3,000
Фундамент для стены самонесущей	4,422–8,013	3,000

Таблица 9.5 – Коэффициенты значимости (α) для каркасных зданий

Элемент	Коэффициент значимости, α	Рекомендуемый коэффициент значимости
Кровля	1,000	2,000
Плита перекрытия (покрытия) крайняя	5,800–7,400	2,000
Плита перекрытия (покрытия) средняя	5,800–7,400	2,000
Ферма (ригель) крайняя	7,300–8,900	7,000
Ферма (ригель) средняя	8,300–9,900	7,000
Колонна угловая	7,800–11,100	8,000
Колонна крайнего ряда средняя	8,600–12,00	8,000
Колонна среднего ряда крайняя	8,600–11,70	8,000
Колонна среднего ряда средняя	8,700–12,80	8,000
Фундамент для колонны угловой	8,000–12,50	3,000
Фундамент для колонны крайнего ряда средней	8,600–13,30	3,000
Фундамент для колонны среднего ряда крайней	8,700–13,10	3,000
Фундамент для колонны среднего ряда средней	9,300–14,10	3,000

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- предлагаемые коэффициенты значимости значительно отличаются от рекомендуемых;
- значения коэффициентов значимости возрастают по мере увеличения нагрузок, воспринимаемых элементами (конструкциями);
- значения коэффициентов значимости зависят от этажности зданий;
- значения коэффициентов значимости не являются постоянными для разных типов элементов (конструкций);
- величины коэффициентов значимости можно прогнозировать, используя выведенные зависимости;
- существуют конкретные пределы изменения коэффициентов значимости, знание которых упрощает нахождение их величин.

Предложенная методика позволяет рассчитывать коэффициенты значимости строительных конструкций для зданий различных типов, конфигураций и габаритов, а также является универсальной и простой в применении.

Полученные результаты можно использовать:

- при проведении экспертной оценки зданий;
- при процессе расчета и назначения категории технического состояния зданий и сооружений;
- при разработке мероприятий по прогнозированию и увеличению остаточного ресурса зданий и сооружений;
- в учебной и научной деятельности для описания и исследования процессов изменения остаточного ресурса зданий и сооружений.

10 ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Каждый современный город, населенный пункт состоит из комплекса различных по назначению, объемно-планировочному и конструктивному исполнению зданий (сооружений), выполняющих функции как производственного, так и жилого, бытового и социально-культурного назначения.

Любое здание включает в себя определенный состав конструктивных элементов. Их условно можно разделить на две группы:

– конструктивные элементы, не подлежащие замене в период эксплуатации, к которым относятся фундаменты, несущие стены, элементы диафрагм жесткости зданий, перекрытия. Эти конструктивные элементы имеют срок службы, равный сроку эксплуатации самого здания. Удельный вес этих элементов в объеме здания значительный (от 40 до 60 %). Техническое состояние зданий, имеющих значительные сроки эксплуатации (более 60 % от нормативных сроков службы), определяется как раз состоянием этих конструктивных элементов. Их эксплуатация связана с регулярным обследованием и своевременным выполнением работ по усилению и восстановлению;

– конструктивные элементы, подлежащие замене в период эксплуатации, к которым относятся крыши и кровли, полы, окна и двери, отделочные работы, технические системы и др. Эти конструктивные элементы имеют определенные сроки эффективной эксплуатации и при достижении состояния износа, требующего их замены, подлежат капитальному ремонту с заменой.

В зависимости от назначения здания при его проектировании предусматриваются соответствующие нормам размеры, прочность, несущая способность, герметичность, теплозащитные и другие эксплуатационные качества, которые реализуются в процессе строительства и должны поддерживаться в ходе эксплуатации.

Практика эксплуатации объектов строительства показывает, что при выполнении всех работ по эксплуатации конструктивных элементов первой группы, а также с учетом качества выполненных работ при проектировании и строительстве зданий общий срок их эксплуатации может быть значительно продлен по сравнению с нормативным. А темпы роста износа здания соответственно могут быть значительно снижены, и наоборот. При этом появление «отказов» при эксплуатации зданий и сооружений из-за аварий конструктивных элементов первой группы носит

во многом вероятностный характер, зависящий от факторов, которые связаны с проектированием, строительством, качеством строительных материалов, изменением геологического и климатического состояний окружающей среды и других форс-мажорных обстоятельств.

В свою очередь порядок эксплуатации конструктивных элементов второй группы, в основном, определяет состояние зданий с точки зрения его потребительских качеств (состояние отделки, технических систем и др.), характеризующих качество использования здания.

Эксплуатируемые здания (сооружения) подвергаются различным внешним (главным образом природным) и внутренним (технологическим и функциональным) воздействиям, что вызывает физический износ (ФИ) их элементов.

Под физическим (материальным) износом конструкции, элемента, системы инженерного оборудования и здания (сооружения) в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека. Величина физического износа – это количественная оценка технического состояния, характеризующая долю ущерба, потери по сравнению с первоначальным состоянием технических и эксплуатационных свойств конструкций за период эксплуатации.

Физический износ объектов строительства имеет место как в процессе их старения, так и под влиянием внешних условий. Сам характер эксплуатации не относится к числу факторов физического износа по той причине, что эксплуатационные нагрузки в абсолютном большинстве случаев являются статическими и по величине значительно ниже нормативных значений.

Основными параметрами, определяющими физический износ зданий, являются соответствие архитектурно-планировочного решения требованиям действующих строительных норм; соответствие степени инженерного обеспечения требованиям действующих норм; техническое состояние и эксплуатационные характеристики (несущая способность, надежность, устойчивость и т. д.) основных строительных конструкций и инженерного оборудования здания.

В зависимости от характера внешних воздействий физический износ подразделяют на природно-климатический, или старение (износ от переменных нагрузжений, вызываемых циклическими изменениями температурно-влажностных условий окружающей среды); механический (износ от переменных напряжений, вызванных внешней, многократно повторяющейся нагрузкой); синергетический (износ, обусловленный совокупностью силовых нагрузок и природно-климатических факторов).

В зависимости от скорости накопления повреждений (отказов) физический износ можно классифицировать как монотонный и интенсивный.

Классификация физического износа по фазам жизненного цикла:

I – интенсивный износ (период приработки, деформаций, дефектов связанных с качеством материалов, изделий и конструкций, качеством строительно-монтажных работ, осадкой фундаментов и т. п.). Этот период непродолжителен, и на него распространяется гарантия, выданная строителями (обычно на два года). В этот период производится так называемый послеосадочный ремонт;

II – период нормальной эксплуатации, который характеризуется монотонным износом. Процесс износа конструктивных элементов и здания в целом замедляется в результате периодических капитальных ремонтов, замены и обновления конструктивных элементов. В этот период накапливаются необратимые деформации, приводящие к структурным изменениям материала, медленной его деградации;

III – период интенсивного износа, который характеризуется повторным усиленным нарастанием износа конструктивных элементов вследствие критического накопления «эксплуатационной усталости». В этой фазе износ здания остановить и компенсировать практически невозможно. Он достигает критического значения, и возникает вопрос о целесообразности ремонта или списания и разборки сооружения.

Анализ графиков изменения ФИ отдельных конструктивных элементов здания с различными сроками службы (рисунок 10.1) показывает, что закономерность нарастания ФИ является общей величиной для всех конструктивных элементов и динамика ФИ является функцией от периода эксплуатации конструктивного элемента.

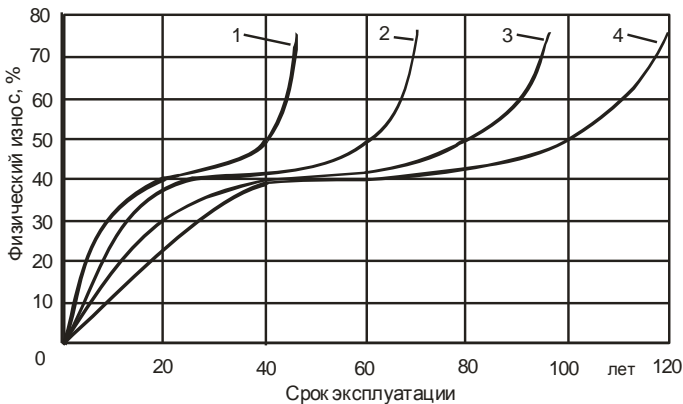


Рисунок 10.1 – Зависимость ФИ элементов с различными сроками службы:

1–4 – элементы с нормативными сроками службы соответственно 50, 75, 100 и 125 лет

Физический износ здания (сооружения) с годами увеличивается. Фактически же в результате капитального и текущего ремонтов темпы роста физического износа снижаются. Физический износ с учетом ремонтных

мероприятий можно разделить на естественный (процесс накопления повреждений без проведения мероприятий по простому воспроизводству и капитальному ремонту) и физический (с учетом обслуживания и ремонта), который, в свою очередь, подразделяется на устранимый, частично устранимый и неустранимый.

Постоянные наблюдения за изменением технического состояния здания в процессе его эксплуатации позволяют получить зависимость изменения ФИ объекта во времени, характеризующую его техническое состояние в течение всего периода эксплуатации. Так, на рисунке 10.2 представлена графическая зависимость ФИ здания от периода и качества его эксплуатации.

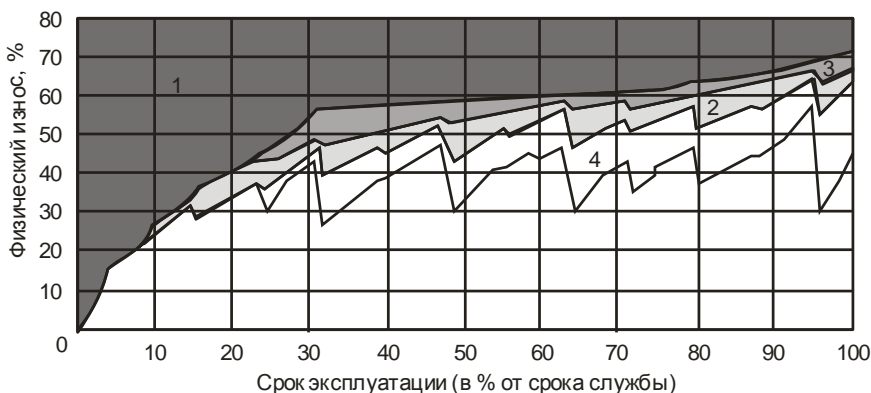


Рисунок 10.2 – Зависимость ФИ от периода и качества эксплуатации

- 1 – зона недопустимой эксплуатации без проведения каких-либо ремонтов и замен элементов;
- 2 – зона неудовлетворительной эксплуатации при своевременном проведении ремонтных работ на двух из основных конструктивных элементах;
- 3 – зона предельных отклонений при своевременном проведении ремонтных работ на основных конструктивных элементах;
- 4 – зона нормальной эксплуатации при своевременном проведении капитальных ремонтов и замен элементов

Снижение ФИ в различные периоды эксплуатации (см. рисунок 10.2) характеризуется своевременным проведением капитальных ремонтов здания, а также полной заменой отдельных сменяемых конструктивных элементов в случае окончания их срока службы.

В результате анализа полученных данных изменения ФИ здания в течение всего периода эксплуатации на графике выделены области, соответствующие минимальным и максимальным значениям ФИ для различных периодов службы здания при различных режимах эксплуатации.

Физический износ здания, достигшего нормативного срока службы, соответствует уровню 75–80 % при условии осуществления в этот период текущих ремонтов, обеспечивающих поддержание нормального эксплуатационного состояния, и капитальных ремонтов, непосредственно связанных с возмещением физического износа. При этом здания со сте-

нами из каменных материалов достигают ветхого состояния при физическом износе более 70 %, из дерева и прочих материалов – 65 %.

Величина ФИ дает представление о техническом состоянии конструктивных элементов и всего здания в целом (таблица 10.1).

Таблица 10.1 – Соответствие технического состояния зданий уровню физического износа

Физический износ здания, %	Категория технического состояния в соответствии с СН 1.04.01-2020
10	I
30	II
50	III
70	IV
90	V

Данный показатель является количественным, выраженным в относительной величине (процентах) или в абсолютном (стоимостном), определяющим потерю стоимости от первоначальной величины. Таким образом, в системе технической эксплуатации, ФИ зданий (сооружений) является важнейшим показателем, характеризующим их состояние в количественном выражении, а следовательно, отображает потребность в том или ином ремонте. При его применении эффективность выполненных ремонтных работ уже можно оценивать через количественный показатель в системе эксплуатации здания (сооружения), т. е. через его износ, а не только качественный, констатирующий состояние здания с точки зрения его исправности и безаварийности.

10.1 Методы оценки физического износа

Определение величины физического износа выполняется как с помощью расчетных методов, на основании нормативно-экспертных методик, так и по результатам инструментального обследования зданий и сооружений.

Наиболее распространенными и удобными методами определения ФИ являются экспертные методы. К их достоинствам можно отнести относительную простоту выполнения расчетов; методики установлены нормативными документами и подробно в них расписаны; требуют меньших материальных и временных затрат. Однако они дают большую погрешность. Кроме того, их главным недостатком является человеческий фактор оценки. Величина ошибки обратно пропорциональна опыту оценщика.

Инструментальное обследование дает достаточно точные результаты, однако оно весьма трудоемко и требует существенных материальных затрат.

Определение ФИ основано на качественной оценке дефектов и повреждений строительных конструкций. Корректная и объективная оценка

физического износа конструкций имеет огромное значение при прогнозировании остаточного ресурса зданий и сооружений.

При массовой оценке технического состояния зданий и сооружений или отсутствии возможности их визуального осмотра применяют расчетные методики определения физического износа, основанные на временном методе определения физического износа. Первую такую методику еще в XIX веке разработал архитектор Росс. Далее это направление активно развивалось российскими учеными: В. С. Сроковским, С. К. Балашовым, В. В. Анисимовым и В. Е. Николайцевым, В. И. Бабакиным, Д. Л. Бронером, Б. М. Колотилкиным, В. К. Соколовым и др.

Большинство исследований по разработке расчетных методик определения ФИ были проведены учеными СССР (одно из последних исследований проведено в 1970 г. В. И. Бабакиным).

Все временные методики данного периода базируются на группах капитальности зданий и сроке их эксплуатации. Необходимо отметить, что у всех них присутствуют различные недостатки, однако основным и общим для них, является очень низкое качество конечного результата.

Многочисленными исследователями, такими как С. В. Аридова, Т. В. Белых, Е. В. Кобзев, А. Х. Байбурин, В. С. Башкатов, А. В. Белых, А. А. Васильев, И. Б. Жижко, К. В. Демьянов, Н. П. Запащикова, Р. О. Корсаков, В. Я. Мищенко, К. М. Плотников, О. Н. Попова, Т. Л. Симанкина, Н. В. Ширко, В. А. Соколов, А. И. Субботин, М. Н. Шутова, Е. В. Тарарушкин, Г. Д. Шмелев и др., ведется работа по усовершенствованию существующих методик оценки физического износа, созданию новых [74–100].

Так, А. В. Белых в [77] предложена новая расчетная методика определения ФИ нежилых зданий, созданная на основе обработки данных технической инвентаризации 42640 нежилых объектов города Санкт-Петербурга. Здания были разделены на укрупненные группы. В первую, условно обозначенную как «деревянные», были объединены здания с рубленными, дощатыми, каркасно-засыпными, сборно-щитовыми и каркасно-обшивными стенами. Во вторую группу, условно обозначенную как «каменные», были объединены остальные, за исключением зданий с «металлическими» стенами. К третьей группе были отнесены «металлические» здания.

С учетом различных допущений были получены модели накопления физического износа для различных групп зданий (таблица 10.2).

Таблица 10.2 – Модели накопления физического износа

Группа зданий	Прогнозная зависимость	Предельный возраст
Здания с кирпичными стенами	$ФИ = \frac{0,685 \arctan 0,0124 t}{e^{0,0063t}} + 0,036$	90
Здания со стенами из мелких бетонных блоков	$ФИ = 0,0245t^{0,5549}$	55

Окончание таблицы 10.2

Группа зданий	Прогнозная зависимость	Предельный возраст
Здания с дощатыми стенами	$\Phi И = 0,0067t + 0,1606$	48
Здания с железобетонными стенами	$\Phi И = 0,0062t + 0,0501$	50
Здания с монолитными стенами	$\Phi И = 0,0058t + 0,0305$	45
Здания со стенами из унифицированных железобетонных элементов	$\Phi И = 0,0468t^{0,0552t}$	35
Здания с каркасно-засыпными стенами	$\Phi И = 0,0402t^{0,6196}$	50
Здания с каркасно-обшивными стенами	$\Phi И = 0,0408t^{0,5765}$	25
Здания с каркасно-панельными стенами	$\Phi И = \frac{0,0021t^{1,08} L \eta \gamma}{e^{0,017t}} + 0,049$	60
Здания с крупноблочными стенами	$\Phi И = 0,0225t^{0,6788}$	60
Здания с крупнопанельными стенами	$\Phi И = 0,0059t + 0,041$	44
Здания с металлическими стенами	$\Phi И = \frac{0,00047t^{1,9} L \eta \gamma}{e^{0,055t}} + 0,05$	40
Здания с рублеными стенами	$\Phi И = 0,0448t^{0,5958}$	60
Здания со шлакобетонными стенами	$\Phi И = 0,0218t^{0,7129}$	60
Здания со сборно-щитовыми стенами	$\Phi И = 0,0373t^{0,6056}$	20

ΦИ зданий в данной методике зависит только от срока эксплуатации объектов.

По итогам анализа полученных данных, в ходе обобщения результатов исследования, А. В. Белых были предложены модели накопления ΦИ для «деревянных», «каменных» и «металлических» зданий [77].

Модели накопления ΦИ, %:

– «деревянными» зданиями, возраст которых не превышает 55 лет –

$$\Phi И = \left(0,0169 \ln(t) \cdot t^{0,446} + 0,0661 \right) \cdot 100; \quad (10.1)$$

– «каменными» зданиями, возраст которых не превышает 90 лет –

$$\Phi И = \left(0,4 - 0,357 \frac{t^{0,044}}{e^{0,0305t}} \right) \cdot 100; \quad (10.2)$$

– «металлическими» зданиями, возраст которых не превышает 40 лет –

$$\text{ФИ} = \left(\frac{0,00047t^{1,9} \ln(t)}{e^{0,055t}} + 0,05 \right) \cdot 100, \quad (10.3)$$

где t – срок эксплуатации, лет.

А. В. Белых [77] считает возможным распространение результатов применения данной методики на весь II климатический район без внесения дополнительных корректировок, однако необходимо отметить очень узкие возрастные границы предлагаемой методики, из которой выпадают здания I, II и III групп капитальности.

Р. О. Корсаковым [91] выполнены исследования для объектов недвижимости Московской области. Проводилась статистическая обработка сведений технических паспортов объектов капитального строительства для 1 880 147 записей по объектам, участвовавшим в кадастровой оценке 2015 г. Построение моделей накопления ФИ зданиями проводилось с учетом их срока эксплуатации и класса конструктивных систем (например, ограждающие конструкции – кирпич, несущие – железобетон, сталь или ограждающие конструкции – железобетон, несущие – железобетон в каркасных системах и др.). В результате обработки были получены полиномы для различных конструктивных систем зданий [91].

Зависимость ФИ конструктивных систем:

– ограждающие конструкции – кирпич; несущие – железобетон, сталь; ограждающие конструкции – мелкие стеновые ячеистые и слоистые блоки; несущие – железобетон, сталь; ограждающие конструкции – кирпич, несущие – древесина –

$$\text{ФИ} = \left(0,18884 + 0,01662t - 0,000184t^2 + 6,80205 \cdot 10^{-7}t^3 \right)^2 \cdot 100; \quad (10.4)$$

– ограждающие конструкции – железобетон; несущие – железобетон в бескаркасных системах; с преимущественным применением нерудных материалов и бетона; с преимущественным применением железобетона –

$$\text{ФИ} = \left(0,15727 + 0,02085t - 0,000369t^2 + 2,70825 \cdot 10^{-6}t^3 \right)^2 \cdot 100; \quad (10.5)$$

– ограждающие конструкции – железобетон; несущие – железобетон в каркасных системах; ограждающие конструкции – железобетон; несущие – сталь; с преимущественным применением сборного железобетона –

$$\text{ФИ} = \left(0,27646 + 0,01690t - 0,000208t^2 + 9,04765 \cdot 10^{-7}t^3 \right)^2 \cdot 100; \quad (10.6)$$

– ограждающие конструкции – тонкий стальной лист и эффективные теплоизоляционные материалы; несущие – железобетон, сталь; ограждающие конструкции – стекло; несущие – железобетон или стальной каркас –

$$\text{ФИ} = \left(0,24308 + 0,01452t - 0,000130t^2 + 9,06340 \cdot 10^{-7}t^3\right)^2 \cdot 100; \quad (10.7)$$

– ограждающие конструкции – древесина; несущие – древесина и другие конструкционные материалы –

$$\text{ФИ} = \left(0,28617 + 0,01822t - 0,000243t^2 + 1,09567 \cdot 10^{-6}t^3\right)^2 \cdot 100; \quad (10.8)$$

– с преимущественным применением конструкционной стали –

$$\text{ФИ} = \left(0,20970 + 0,02507t - 0,000464t^2 + 3,30644 \cdot 10^{-6}t^3\right)^2 \cdot 100; \quad (10.9)$$

– с преимущественным применением стальных труб –

$$\text{ФИ} = \left(0,34691 + 0,00883t - 0,00003t^2\right)^2 \cdot 100, \quad (10.10)$$

где t – срок эксплуатации, лет.

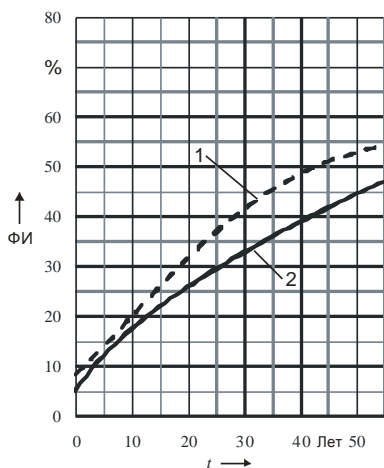


Рисунок 10.3 – Модель накопления ФИ:

- 1 – по методике Р. О. Корсакова;
- 2 – по методике А. В. Белых

В связи со значительным объемом обработанных данных и распределением оцениваемых объектов по всей Московской области, Р. О. Корсаков выдвигает предположение о применимости полученных моделей для оценки ФИ объектов недвижимости в границах Европейской части Российской Федерации.

В графическом виде зависимость изменения ФИ во времени для зданий с деревянными стенами по методике А. В. Белых и зданий с конструктивной схемой типа «ограждающие конструкции – древесина, несущие – древесина и другие конструктивные материалы» по методике Р. О. Корсакова представлена на рисунке 10.3.

При анализе уравнений накопления ФИ по двум вышеприведенным методикам видно, что значения ФИ значительно отличаются после достижения зданиями срока эксплуатации 10 лет (рисунок 10.3).

Аналогичны различия при сравнении других моделей (зданий с каменными стенами и т. д.).

В данных методиках учитывались только срок эксплуатации зданий и материал стен (капитальность зданий не учитывалась), следовательно, результаты по полученным моделям должны быть приблизительно одинаковыми, однако на практике они значительно отличаются. Возможными причинами данных различий являются: результаты технической инвентаризации, проведенной БТИ, имеющие большой «разброс» значений ФИ; исследование А. В. Белых проведено только для нежилых зданий города Санкт-Петербурга, а Р. О. Корсакова – для всех объектов капитального строительства Московской области; у А. В. Белых при построении моделей накопления ФИ учитывался только материал стен зданий, однако физический износ здания в целом, который отражается в технических паспортах зданий, определяется с учетом всех элементов и конструкций здания.

Удельный вес стен в большинстве зданий составляет приблизительно 30 %, что говорит о некорректности применения полученных формул для определения ФИ всех деревянных зданий. В исследовании Р. О. Корсакова – здания разбиваются по классам конструктивных систем (преимущество отдается также материалу стен), что недостаточно корректно.

Необходимо отметить, что согласно действующим нормативным документам определение величины ФИ пропорционально нормативному сроку службы и возрасту зданий, как правило, не допускается. Связано это с тем, что величина физического износа одного и того же здания, рассчитанная по различным методикам, отличается на десятки процентов. Данные различия в результатах можно объяснить тем, что исследователи разрабатывали свои методики в соответствии с разделением зданий на группы капитальности, которые изменялись с течением времени. Стоит также отметить, что большинство методик разработано для жилых зданий, и применять их для определения ФИ промышленных и общественных зданий некорректно.

Однако основной причиной того, что прогнозирование ФИ зданий в целом не имеет перспектив (даже одной группы капитальности, «деревянных», «каменных», «металлических» и др.), на взгляд автора, является максимальная зависимость ФИ от конструктива здания, а его, в свою очередь, – от примененных материалов. Материалы, даже одного вида, имеют различную степень повреждаемости, службы и, как следствие, долговечность. Тем более различные степени долговечности имеют конструкции, изготовленные из таких материалов.

Необходимо разработать модели ФИ для различных типов конструкций в зависимости от используемых материалов для их изготовления. Полученные модели ФИ для отдельных конструкций нужно анализировать и на основании результатов исследований математически объединять для разработки моделей ФИ зданий и сооружений.

10.2 Оценка физического износа конструкций зданий и сооружений на основе логистических зависимостей

Для математического моделирования сроков службы основных элементов и конструкций жилых зданий применим закон нормального распределения, а для некоторых ограждающих и защитных конструкций – экспоненциальный закон. Однако наиболее приближенным к действительности является полный цикл развития. Моделирование физического износа конструкций необходимо выполнять на основе логистической зависимости, поскольку она наиболее точно описывает полный цикл развития ФИ.

В большинстве случаев износ развивается медленно от нулевого уровня, но с возрастающим ускорением. В середине цикла рост происходит по линейному тренду, т. е. ускорение становится равным нулю. В завершающей части цикла при приближении к предельному значению показателя рост замедляется по гиперболе.

Виды логистических кривых представлены на рисунке 10.4 с диапазоном изменения ординаты (0; A), где середина ряда пересекает ось ординат, при этом кривая не может доходить и касаться нижней и верхней границ интервала, ограниченных асимптотами $y_1 = 0$ и $y_2 = A$.

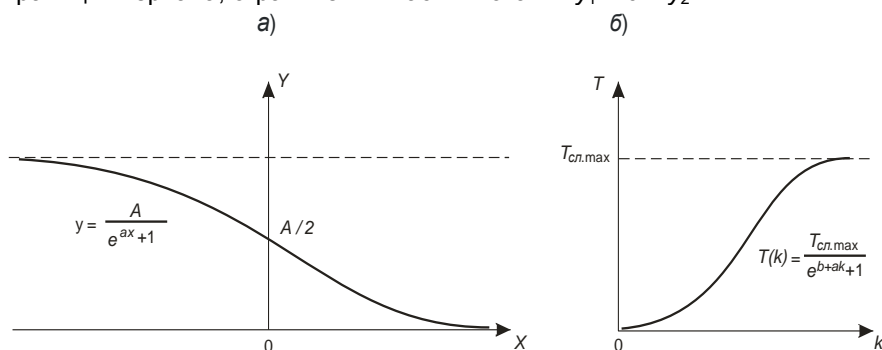


Рисунок 10.4 – Логистические кривые:

а – обобщенный вид; б – типовая кривая графика физического износа по ТКП 45-1.04-119-2008

При прогнозировании работоспособности строительных конструкций зданий и сооружений на основе ретроспективных данных физического износа, на первом этапе необходимо прогнозировать предельный срок эксплуатации строительной конструкции до достижения ею максимально возможной степени физического износа.

На основании этого, Г. Д. Шмелев и Н. В. Головина, в своей работе [72] предлагают следующую логистическую зависимость предельного срока эксплуатации строительной конструкции от показателей физического износа, полученных по результатам обследования:

$$T_{\text{lim}} = \left(\frac{T_{\text{sf}}(\exp(mF) + F_{\text{lim}})}{\exp(mF) - 1} \right) / K_{\text{otv}}, \quad (10.11)$$

где T_{lim} – срок службы конструкции до предельного физического износа, лет; T_{sf} – срок эксплуатации конструкции до проведения обследования и оценки износа, лет; m – коэффициент, характеризующий форму кривой, принимаемый равным $10 / F_{\text{lim}}$; F – физический износ конструкции на момент обследования, %⁻¹; F_{lim} – предельное значение физического износа, %⁻¹; K_{otv} – коэффициент ответственности сооружения.

Соответственно, зависимость степени физического износа от времени эксплуатации

$$F \approx \ln \left(\frac{K_{\text{otv}} + F_{\text{lim}} t / T_{\text{lim}}}{K_{\text{otv}} - t / T_{\text{lim}}} \right) \cdot \frac{1}{m} \quad (10.12)$$

где t – текущий срок эксплуатации, лет.

По мнению Г. Д. Шмелева и Н. В. Головиной, данная прогнозная модель использует фактические параметры строительных конструкций оцениваемого объекта, полученные по результатам обследований, учитывает их индивидуальные особенности и подходит для прогноза реальных сроков эксплуатации строительных конструкций до достижения ими предельной степени физического износа. Предлагаемые коэффициенты достаточно просты для определения и подходят для различных типов строительных конструкций, имеющих сходный физический износ. Модель применима как для конструкций, находящихся в условиях нормальной эксплуатации, так и для конструкций, подвергшихся негативному воздействию внешних факторов. Используя данную модель, можно прогнозировать остаточный ресурс для конструкций, имеющих как максимальный, так и минимальный физический износ.

Однако расчеты по предлагаемой модели показывают, что при ее использовании предельный срок службы конструкций прогнозируется от 110 лет для максимально поврежденных конструкций до 340 лет для минимально поврежденных; время достижения ФИ = 40 % прогнозируется от 90 лет для максимально поврежденных конструкций, до 324 лет – для минимально поврежденных; время достижения ФИ > 40 % прогнозируется от 90 до 120 лет для максимально поврежденных конструкций и от 324 до 340 лет – для минимально поврежденных.

Получаемые прогнозные значения ФИ абсолютно не соответствуют реальным конструкциям, даже максимально массивным и долговечным для зданий I группы капитальности.

В соответствии с предложением Н. В. Головиной и Г. Д. Шмелева функция зависимости срока службы от величины физического износа конструкций $T(k)$ в виде логистической кривой (см. рисунок 10.4, б):

$$\pi k = \frac{T_{\text{сл. max}} - T_{\text{сл. min}}}{e^{b+ak} + 1} + T_{\text{сл. min}} \quad (10.13)$$

где $T_{\text{сл. max}}$ – нормативный (максимальный) срок службы, лет; $T_{\text{сл. min}}$ – минимальный срок службы, лет; e – основание натуральных логарифмов; b – параметр, определяющий положение точки перегиба; a – параметр, определяющий наклон кривой в точке перегиба (для функции износа $a < 0$); k – физический износ, %.

Особенностью логистического тренда является этап обоснования значений максимального и минимального уровней временного ряда. Это обоснование осуществляется на основе, во-первых, уровней фактического ряда, во-вторых – теоретических, т. е. внешних по отношению к статистике соображений, относящихся к содержанию изучаемого процесса. Минимальный срок службы конструктивного элемента определяется начальным моментом его эксплуатации, т. е. $T_{\text{сл. min}} = 0$, максимальный – нормативным сроком эксплуатации.

Следовательно, выражение (10.13) преобразуется к виду

$$\pi k = \frac{T_{\text{сл. max}}}{e^{b+ak} + 1} \quad (10.14)$$

Полученные в [72] на основе зависимости (10.14) выражения для различных конструктивных элементов зданий приведены в таблице 10.3.

Таблица 10.3 – Моделирование срока эксплуатации конструктивных элементов

Конструкция	Уравнение функции временного ряда
Фундамент (свайный железобетонный)	$\pi k = \frac{125}{e^{4,3-0,11k} + 1}$
Наружные стены (трехслойные панели)	
Перекрытия, покрытия (сборные железобетонные плиты)	
Лестницы (железобетонные)	
Полы (наливные)	$\pi k = \frac{80}{e^{4,5-0,11k} + 1}$
Оконные проемы (закладные, двойные)	$\pi k = \frac{50}{e^{3,8-0,10k} + 1}$
Дверные проемы (закладные, одностворчатые, филенчатые)	
Кровля (рулонная по железобетонным плитам)	$\pi k = \frac{12}{e^{3,9-0,11k} + 1}$

Окончание таблицы 10.3

Конструкция	Уравнение функции временного ряда
Отделка (масляная / водоземulsionная окраска по оштукатуренным стенам; водоземulsionная окраска потолков)	$\pi k = \frac{10}{e^{3,3-0,08k} + 1}$
Система центрального отопления (стояки стальные)	$\pi k = \frac{30}{e^{3,9+0,10k} + 1}$
Система внутреннего горячего водоснабжения (стояки и магистрали из черных труб)	$\pi k = \frac{10}{e^{3,3-0,08k} + 1}$
Система внутреннего водопровода (трубопроводы стальные черные)	$\pi k = \frac{15}{e^{4,1-0,11k} + 1}$
Система внутренней канализации (трубопроводы чугунные)	$\pi k = \frac{40}{e^{4,3-0,11k} + 1}$
Система внутреннего электрооборудования (внутриквартирные сети, скрытые (220 В))	$\pi k = \frac{40}{e^{4,3-0,11k} + 1}$

Необходимо отметить, что, задавая параметр $T_{сл. max}$, Н. В. Головина и Г. Д. Шмелев оказывают влияние на определение коэффициентов a и b , а значит, и на форму логистической кривой, и, как следствие, на точность прогнозирования. При этом для каждого типа конструкций, имеющего различные нормативные сроки эксплуатации, коэффициенты будут разными, что значительно усложняет задачу прогнозирования. Они отмечают: по предлагаемой методике прослеживается процесс усреднения показателей ФИ, что является ошибочным, так как на практике зачастую наличие элемента, имеющего максимальный ФИ по сравнению с остальными, может привести к необходимости проведения работ по капитальному ремонту, восстановлению или усилению.

Так как строительные конструкции относятся к сложным многопараметрическим системам, подверженным воздействию многих факторов, как объекты прогнозирования имеют продолжительные сроки эксплуатации и для сбора статистических данных зачастую требуется продолжительное наблюдение, систематизировать данные по ФИ для различных групп конструкций в разных условиях эксплуатации очень сложно и не всегда возможно. Следовательно, Н. В. Головин и Г. Д. Шмелева считают, что, в условиях повышенной статистической неопределенности применение данной модели невозможно. Тем не менее, по мнению А. А. Васильева [99], данная модель в значительной степени отражает сущность процесса ФИ конструкций различных типов и ее возможно использовать как «идеалистическую», т. е. модель, к соответствию которой необходимо стремиться в процессе жизненного цикла конструкций.

Для прогнозирования ФИ ЖБЭ и ЖБК Т. Л. Симанкиной и О. Н. Поповой в [93] предложено следующее выражение:

$$\pi k = \frac{125}{e^{4,3-0,11k} + 1} \quad (10.15)$$

С учетом общепринятого срока эксплуатации железобетона, равного 100 лет, выражение (10.15) примет вид

$$\pi k = \frac{100}{e^{4,3-0,11k} + 1} \quad (10.16)$$

Для целей планирования ремонтно-строительных работ целесообразно определить зависимость величины физического износа от времени. Поэтому выполняем преобразование функции $T(k)$ в обратную ей функцию $K(t)$:

$$K(t) = 39,09 - \frac{\ln\left(\frac{100}{t} - 1\right)}{0,11} \quad (10.17)$$

Данная зависимость получена при условии общепринятых граничного значения ФИ = 80 % и нормативного срока эксплуатации железобетона $t = 100$ лет.

Прогнозирование физического износа железобетонных элементов и конструкций зданий и сооружений невозможно учесть одной зависимостью. Здания и сооружения классифицируются по классам ответственности, железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) в них значительно отличаются условиями эксплуатации, не говоря уже о различных составах бетонов в них, прочностях на сжатие бетонов, армировании, нагрузках и т. д.

Вышеприведенное хотя бы укрупнено должно быть учтено в прогнозировании ФИ железобетона. Поэтому в полученную для железобетона зависимость (10.17) А. А. Васильевым в [99] предложено ввести коэффициенты: c – определяющий, граничное значение срока наступления граничного значения ФИ элемента (конструкции); d – граничное значение ФИ с учетом степени ответственности конструкции (здания, сооружения), эксплуатационных условий и нагрузок.

$$K(t) = 39,09 - \frac{\ln\left(\frac{100c}{t} - 1\right)}{0,11} \cdot d \quad (10.18)$$

С учетом условий эксплуатации, воздействий и нагрузок на здания и сооружения выделены основные группы строительных объектов и для каждой группы получены зависимости для прогнозирования ФИ ЖБЭ и

ЖБК [99]. При этом принимались общие сроки службы, лет: мосты и путепроводы – 100; жилые и общественные здания – 150; цеха с неагрессивной (малоагрессивной) средой – 80; среднеагрессивной – 60; сильноагрессивной – 50; коровники – 50; свинарники – 40.

В качестве примера рассмотрим зависимость ФИ для мостов и путепроводов. Важнейшими конструкциями мостов и путепроводов являются пролетные строения, ригели и опоры. С учетом степени значимости сооружений и условий эксплуатации принимаем планируемый срок службы (до достижения граничных значений ФИ) железобетонных пролетных строений и ригелей – 50 лет, опор – 100 лет. При этом с учетом эксплуатационных условий, нагрузок и воздействий, возможностей и качества слежения за конструкциями принимаем граничные значения ФИ для опор мостов и путепроводов – 70 %; для пролетных строений и ригелей мостов – 40 %, пролетных строений и ригелей путепроводов – 50 %.

Таким образом, для мостов, опор и пролетных строений (ригелей) соответственно:

$$K_{\text{оп}} = 39,09 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{100}{t} - 1\right)}{0,11} \right)^{0,88}; \quad (10.19)$$

$$K_{\text{пр.,п}} = 39,09 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{100 \cdot 0,5}{t} - 1\right)}{0,11} \right)^{0,5}; \quad (10.20)$$

$$\pi_{\text{оп}} = \frac{100}{e^{4,3-0,125k} + 1}; \quad (10.21)$$

$$\pi_{\text{пр.,п}} = \frac{50}{e^{4,3-0,22k} + 1}; \quad (10.22)$$

Для путепроводов соответственно:

$$K_{\text{оп}} = 39,09 \cdot \left(\frac{\ln\left(\frac{100}{t} - 1\right)}{0,11} \right)^{0,88}; \quad (10.23)$$

$$K_{\text{пр.,р}} = 39,09 - \frac{\ln\left(\frac{100 \cdot 0,5}{t} - 1\right)}{0,11} - 0,63; \quad (10.24)$$

$$K_{\text{оп}} = \frac{100}{e^{4,3-0,125k} + 1} \quad (10.25)$$

$$K_{\text{пр.,р}} = \frac{50}{e^{4,3-0,175k} + 1} \quad (10.26)$$

Предлагаемые зависимости в графическом виде, приведены на рисунках 10.5 и 10.6.

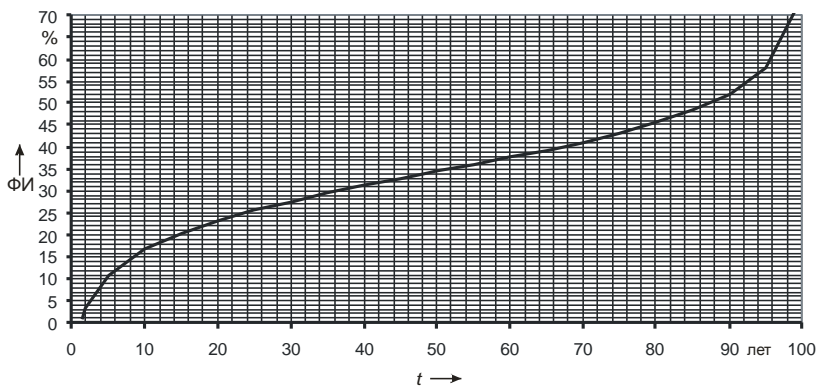


Рисунок 10.5 – Зависимость t – ФИ для опор мостов и путепроводов

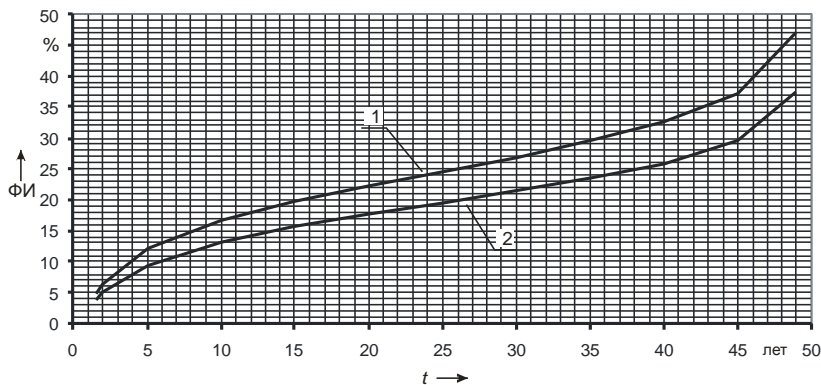


Рисунок 10.6 – Зависимость t – ФИ для пролетных строений и ригелей мостов и путепроводов:
1 – путепроводы; 2 – мосты

Аналогично можно получить модели ФИ для остальных типов конструкций с учетом использованных материалов. Полученные на основе зависимости (10.18) выражения для различных конструктивных элементов зданий приведены в таблице 10.4.

Таблица 10.4 – Значения коэффициентов c и d для различных элементов зданий

Элемент (конструкция)	Граничное значение ФИ, %	Срок службы до граничного значения ФИ, лет	Коэффициент	
			c	d
<i>Жилые здания</i>				
Колонны	80	150	1,50	1,00
Плиты перекрытия (перекрытие)	80	100	1,00	1,00
Плиты покрытия (покрытие)	70	75	0,75	0,88
Стеновые панели	70	100	1,00	0,88
Панели ограждения	70	75	0,75	0,88
<i>Общественные здания</i>				
Колонны	75	150	1,50	0,94
Плиты перекрытия (перекрытие)	75	100	1,00	0,94
Плиты покрытия (покрытие)	70	75	0,75	0,88
Стеновые панели	65	100	1,00	0,81
Панели ограждения	65	75	0,75	0,81
<i>Цеха с малоагрессивной средой</i>				
Колонны	75	80	0,80	0,94
Ригели	75	80	0,80	0,94
Плиты перекрытия	70	80	0,80	0,88
Фермы (балки покрытия)	70	70	0,70	0,88
Плиты покрытия	60	50	0,50	0,75
Панели ограждения	60	50	0,50	0,75
<i>Цеха со среднеагрессивной средой</i>				
Колонны	70	60	0,60	0,88
Ригели	70	60	0,60	0,88
Плиты перекрытия	65	60	0,60	0,81
Фермы (балки покрытия)	60	45	0,45	0,75
Плиты покрытия	55	40	0,40	0,69
Панели ограждения	55	40	0,40	0,69
<i>Цеха с сильноагрессивной средой</i>				
Колонны	60	50	0,50	0,75
Ригели	60	50	0,50	0,75
Плиты перекрытия	55	50	0,50	0,69
Фермы (балки покрытия)	55	30	0,30	0,69
Плиты покрытия	50	25	0,25	0,63
Панели ограждения	50	25	0,25	0,63

Окончание таблицы 10.4

Элемент (конструкция)	Граничное значение ФИ, %	Срок службы до граничного значения ФИ, лет	Коэффициент	
			<i>c</i>	<i>d</i>
<i>Коровники</i>				
Колонны (стойки полурам)	70	50	0,50	0,88
Балки (балочная часть полурам)	65	40	0,40	0,81
Плиты покрытия	60	25	0,25	0,75
Панели ограждения	70	50	0,25	0,88
<i>Свинарники</i>				
Колонны (стойки полурам)	70	25	0,25	0,88
Балки (балочная часть полурам)	65	20	0,20	0,81
Плиты покрытия	60	15	0,15	0,75
Панели ограждения	70	25	0,25	0,88

Полученные зависимости являются «идеалистическими», т. е. зависимостями, которые можно использовать при проектировании и строительстве зданий и сооружений при планировании: величин эксплуатационных сроков; мероприятий по поддержанию их безопасной эксплуатации в период эксплуатационного срока. К таким зависимостям необходимо стремиться при эксплуатации объектов строительства.

В реальных условиях эксплуатации рассчитанный по результатам реальной оценки ФИ элемента (конструкции) фактический срок эксплуатации может отличаться (даже значительно) от прогнозируемого. Предлагаемые зависимости позволяют, сравнивая значения фактического ФИ с прогнозируемым, регулировать сроки капитальных ремонтов, восстановления и замены ЖБЭ и ЖБК. Также они дают возможность регулировать периодичность проведения осмотров, обследований, капитальных ремонтов. Однако необходимо отметить, что для корректного использования предлагаемых прогнозных выражений необходимо повышать точность нормативно-экспертных методик.

10.3 Экспертный метод оценки ФИ

Общепринятым и, по сути, единственным методом определения физического износа является экспертный метод, в основу которого положена шкала экспертных оценок. Оценка ФИ на его основе представлена в ТКП 45-1.04-119-2008 (02250) «Здания и сооружения. Оценка степени физического износа» (в России – в ВСН 53-86р «Правила оценки физического износа жилых зданий»).

Величина износа определяется по внешним (видимым) дефектам и повреждениям элементов и конструкций строительного объекта. Достоинство данного метода – относительная простота выполнения расчетов,

она установлена нормативными документами и подробно в них изложена. В соответствии с ней физический износ конструкций, элементов, систем или их участков следует оценивать путем сопоставления признаков ФИ, выявленных путем визуального (инструментального) обследования, с их значениями, приведенными в соответствующих таблицах НД, руководствуясь следующими соображениями:

– в случае, когда конструкция, элемент, система или участок имеет все признаки износа, соответствующие определенной группе признаков, то износ следует принимать равным верхней границе интервала;

– если выявлен только один из признаков износа, то физический износ следует принимать равным нижней границе интервала;

– если в таблице интервалу значений износа соответствует только один признак, то физический износ следует принимать по интерполяции в зависимости от размеров или характера имеющихся повреждений.

Физический износ конструкции, элемента системы, %, имеющих различную степень повреждения отдельных участков, определяют по формуле

$$\Phi_K = \sum_{i=1}^n \Phi_i \frac{P_i}{P_K}, \quad (10.27)$$

где Φ_i – физический износ участка конструкции, элемента или системы, %;

P_i – размер (площадь или длина) поврежденного участка, m^2 или m ; P_K – размер всей конструкции, m^2 или m ; n – число поврежденных участков.

Численные значения физического износа для отдельных участков конструкций, элементов и систем следует округлять до 10 %, а для конструкций, элементов и систем в целом – до 5 %.

Физический износ здания или сооружения, %, определяют по формуле

$$\Phi_3 = \sum_{i=1}^n \Phi_{Ki} \cdot l_i, \quad (10.28)$$

где Φ_{Ki} – физический износ отдельной конструкции, элемента или системы, %; l_i – коэффициент, соответствующий доле восстановительной

стоимости отдельной конструкции, элемента или системы в общей восстановительной стоимости здания (сооружения); n – число отдельных конструкций, элементов или систем в здании или сооружении.

Доли восстановительной стоимости отдельных конструкций, элементов или систем в общей восстановительной стоимости принимают по укрупненным показателям восстановительной стоимости зданий [Сб. № 1–37 «Укрупненные показатели восстановительной стоимости зданий (различных типов) для переоценки основных фондов», а для конструкций, элементов или систем, не имеющих утвержденных показателей, – по их сметной стоимости.

Полученные численные значения физического износа для здания (сооружения) в целом следует округлять до 1 %.

К главному недостатку оценки ФИ данным способом относят человеческий фактор, поскольку величина ошибки оценщика в значительной мере зависит от его опыта. Однако, качество оценки зависит от опыта эксперта только если документ, по которому выполняется определение ФИ строительного объекта, совершенен.

Многолетние исследования ФИ различных типов элементов зданий и сооружений, выполненные на базе НИЛ «Диагностика, испытание и исследование строительных материалов и конструкций» им. профессора И. А. Кудрявцева БелГУТа (РБ) под руководством А. А. Васильева показали, что ТКП 45-1.04-119-2008 (02250) в своей основе повторяет ВСН 53-86 (р) и ему присущи его несовершенства оценки ФИ зданий [80, 81]:

- существенная обобщенность признаков износа (отсутствие многих значимых дефектов и повреждений);

- неравноценность признаков износа в одном интервале ФИ, что при его интерполяции по признакам износа дает одинаковое количество процентов износа признакам, описывающим различную степень повреждений;

- значительный интервал износа (0–40 % для некоторых конструкций), объединяющий в себе сразу несколько категорий технического состояния конструкций;

- недостаточность смысла получения десятых долей процента при интерполяции ФИ (поскольку полученное значение округляется до 5 %);

- недостаточная точность, а ведь зачастую разница даже в 5 % приводит к рассмотрению вопроса о возможности дальнейшей эксплуатации здания.

Поскольку в данном документе добавлена возможность оценки ФИ промышленных зданий, также необходимо (помимо уже указанных) отметить некоторые несовершенства:

- отсутствие описаний признаков износа многих значимых элементов либо конструкций (плиты ребристые, покрытие из стальных профилированных листов и др.);

- недостаточное количество и несовпадение категорий технического состояния конструкций с СН 1.04.01-2020 «Техническое состояние зданий и сооружений» при оценке ФИ конструкций и элементов транспортных сооружений;

- сложность и невозможность применения без специальных приборов и оборудования математической модели определения ФИ.

В связи с вышеприведенным, по мнению автора, необходимо усовершенствование существующего экспертного метода оценки ФИ.

Понятно, что оно должно быть рациональным, поскольку простое увеличение признаков износа и расширение параметров количественной оценки приведет к созданию огромных объемов документов и значительно усложнит оценку ФИ элементов, конструкций и зданий в целом.

В качестве усовершенствования экспертного метода А. А. Васильевым предложено следующее [81]:

- учет основных конструктивных элементов зданий (добавление недостающих элементов);
- добавление признаков износа (уточняющих отдельные повреждения; учитывающих появление новых материалов и т. д.);
- разбивка признаков износа на группы (в пределах одного интервала ФИ с систематизацией в них признаков по равноценности и последующим суммированием ФИ по каждой группе;
- прибавление дополнительных процентов (к верхней границе интервала физического износа) при превышении параметра количественной оценки ФИ. При этом методика расчета в формульной части остается неизменной.

В предлагаемом варианте необходимо руководствоваться следующими правилами:

- если в таблице интервалу значений износа соответствует только один признак, то ФИ следует принимать по интерполяции в зависимости от размеров или характера имеющихся повреждений;

- если в графе «Признаки износа» в группе признаков присутствуют четыре и более признака, а выявлен только один из признаков износа из группы признаков, то износ следует принимать равным нижней границе интервала;

- если в графе «Признаки износа» выявлено несколько признаков износа, но не все в соответствующей группе, то износ следует принимать по интерполяции в зависимости от размеров или характера имеющихся повреждений;

- если конструкция, элемент, система или участок имеет все признаки износа, соответствующие определенному интервалу его значений, то износ следует принимать равным верхней границе интервала;

- если в графе «Признаки износа» признаки износа представлены двумя или четырьмя группами, необходимо определять ФИ по каждой группе, затем его суммировать и прибавлять к нижней границе интервала графы «Физический износ»;

- если повреждения более указанных в графе «Количественная оценка» для данных признаков износа (по площади, количеству и ширине раскрытия трещин и т. д.), то ФИ следует принимать с учетом интерполяции по интервалу в сторону увеличения до 5 %.

Оценку ФИ существующим методом и предлагаемым вариантом рассмотрим на конкретных примерах.

Пример 1. Оценка ФИ столбов кирпичных на отдельных участках.

При обследовании столбов кирпичных на трех различных участках здания выявлены следующие признаки износа:

1-й участок – трещины по штукатурному слою шириной раскрытия до 2,0 мм, отслаивание штукатурного слоя и его частичное обрушение на многочисленных участках, увлажнение, высолы, размораживание от-

дельных кирпичей, выкрашивание раствора из швов кладки на глубину до 10 мм. Повреждения на площади около 40 %;

2-й участок – отклонение кладки от вертикали на величину до 30 мм, многочисленные вертикальные трещины по кладке, размораживание кладки на многочисленных участках на глубину до 40 мм. Повреждения на площади около 50 %;

3-й участок – размораживание и разрушение кладки на многочисленных участках на глубину до 50 мм, выпучивание кладки на отдельных участках на величину более 1/150 высоты стены, разрушение отдельных кирпичей.

В таблице 10.5 представлена оценка ФИ по признакам износа в соответствии с [87]. В соответствии с существующей методикой и таблицей 10.5 ФИ первого участка составляет 25 %, второго – 50 %, третьего – 65 %. Износ определен ориентировочно, поскольку в графе «Признаки износа» дефекты значительно обобщены, а в графе «Количественная оценка» недостаточно количественных показателей для объективной оценки каждого признака износа.

Таблица 10.5 – Оценка ФИ столбов кирпичных (в соответствии с ТКП 45-1.04-119-2008 (02250))

Признаки износа	Количественная оценка	Физический износ, %
5.3.2 Столбы кирпичные		
1 Трещины в кладке и штукатурке, выветривание раствора швов, отдельные отколы, незначительное расслоение отдельных кирпичей	Ширина трещин до 1 мм. Разрушение швов на глубину до 10 мм на площади до 10 %. Отколы глубиной до 40 мм	До 40
2 Выпучивание и отклонение от вертикали, сквозные трещины в разных направлениях, выветривание раствора швов, ослабление кирпичной кладки, смятие кирпича под опорными подушками, отколы кирпича	Выпучивание до 1/150 высоты помещения. Отклонение от вертикали до 3 см. Выветривание швов на глубину до 40 мм на площади до 50 %. Отколы глубиной в 0,5 кирпича	41–60
3 Отклонение столбов от вертикали, выпучивание кладки, наклонные сквозные трещины и сдвиг верхней части столбов, выветривание швов на всей площади, выпадение кирпичей	Отклонение от вертикали более 3 см. Выпучивание более 1/150 высоты помещения. Выветривание швов на глубину более 40 мм	61–80

В таблице 10.6 представлен предлагаемый вариант оценки ФИ по группам признаков износа.

Таблица 10.6 – Оценка ФИ столбов кирпичных (предлагаемая)

Группы признаков износа	Количественная оценка	Физический износ, %	
		Группы признаков	Общий
Столбы кирпичные			
Единичные трещины по кирпичам, сколы; трещины по штукатурному слою на отдельных участках ----- Увлажнение; выкрашивание раствора из швов кладки на отдельных участках	Ширина раскрытия трещин до 1 мм. Разрушение швов на глубину до 20 мм. Повреждения на площади до 10 %	1–10 ----- 1–10	1–20
Трещины по штукатурному слою; отслаивание и частичное его обрушение на многочисленных участках; увлажнение, высолы ----- Увлажнение; размораживание кладки на отдельных участках; выкрашивание раствора из швов кладки	Ширина раскрытия трещин до 1,5 мм. Разрушение кладки на глубину до 20 мм. Повреждения на площади до 30 %	1–10 ----- 1–10	21–40
Выпучивание, отклонение кладки от вертикали; вертикальные трещины по кладке; выкрашивание раствора из швов кладки на многочисленных участках ----- Размораживание кладки; смятие кирпича под опорными подушками на отдельных участках; единичные вертикальные трещины по кладке	Выпучивание до 1/150 высоты столба. Отклонение от вертикали до 30 мм. Разрушение кладки на глубину до 50 мм. Повреждения на площади до 50 %. Ширина раскрытия трещин до 3 мм	1–10 ----- 1–10	41–60
Отклонение столбов от вертикали, выпучивание кладки, размораживание и разрушение кладки на многочисленных участках ----- Многочисленные вертикальные трещины по кладке, смещение верхней части столбов, разрушение отдельных кирпичей	Отклонение от вертикали более 3 см. Выпучивание более 1/150 высоты столба. Разрушение кладки на глубину более 50 мм. Ширина раскрытия трещин более 3 мм	1–10 ----- 1–10	61–80

При оценке физического износа в соответствии с предлагаемым методом получаем следующий физический износ участков:

1-й участок – 43 % (наличие всех признаков, приведенных для интервала 21–40 %, плюс 3 % по интерполяции дополнительной ширины раскрытия трещин и площади повреждений). Полученное значение округляем до 45 %;

2-й участок – наличие двух признаков из трех в первой группе признаков (верхняя подъячейка) – по интерполяции – 6,6 %, наличие одного признака из двух во второй группе признаков (нижняя подъячейка) – по интерполяции – 5,0 %.

Суммируем значения нижнего предела и физического износа одной группы признаков ($40 + 6,6 + 5,0 = 51,6$ %). Округляя, получаем физический износ второго участка – 50 %.

3-й участок: наличие двух признаков из трех в первой группе признаков (по интерполяции – 6,6 %), наличие одного признака из трех во второй группе признаков (по интерполяции – 3,3 %). Суммируем значения нижнего предела и физического износа по двум группам признаков ($60 + 6,6 + 3,3 = 69,9$ %). Округляя, получаем физический износ третьего участка – 70 %.

Полученные выводы по примеру 1:

– в существующем методе (в графе «Признаки износа») не хватает признаков износа для полноценной оценки конструктивных элементов, они недостаточно отражены количественно и в одном пределе изменения ФИ значительно отличаются по значимости;

– значения ФИ для различных участков отличаются (до 80 %);

– в предлагаемом варианте группы признаков износа расширены и скомпонованы по значимости, что позволяет значительно более точно и объективно оценить ФИ столбов кирпичных.

Пример 2. Наиболее часто покрытия промышленных зданий выполняют из сборных ребристых плит. В ТКП 45-1.04-119-2008 (02250) отсутствует возможность оценки ФИ покрытия из ребристых плит, также как и из плит типа ПК (хотя данные типы плит являются наиболее массово применяемыми). Для оценки их ФИ можно использовать п. 6.5.1. Перекрытия из сборного железобетонного настила ТКП 45-1.04-119-2008 (02250) (см. таблицу 10.7). Количественная оценка ФИ плит ребристых по признакам износа в данном примере не приводится, т. к. в таблице 8.6 [87] приведены только самые общие (отсутствуют значимые, присущие данному типу плит) дефекты и повреждения, что не дает возможности объективно оценить износ.

Таблица 10.7 – Оценка ФИ перекрытия из сборного железобетонного настила (в соответствии с ТКП 45-1.04-119-2008 (02250))

Признаки износа	Количественная оценка	Физический износ, %
6.5.1 Перекрытия из сборного железобетонного настила		
1 Трещины в швах между плитами	Ширина раскрытия трещин до 1 мм	До 10
2 Незначительное смещение плит относительно друг друга по высоте, местами неровности потолка, отслоение выравнивающего слоя	Смещение до 1,5 мм	11–20
3 Значительное смещение плит перекрытия относительно друг друга по высоте и неровности потолка, сырые пятна в местах опирания плит на наружные стены	Смещение до 3 см	21–30
4 Волосяные трещины на поверхностях плит в пролетах, трещины и сырость на плитах и на стенах в местах опирания плит	–	31–40
5 Поперечные трещины в плитах без оголения арматуры, прогиб плит	Ширина трещин до 2 мм. Прогиб 1/100 пролета	41–50
6 Глубокие поперечные трещины с оголением арматуры, прогрессирующее смещение плит из плоскости с заметным прогибом	Ширина трещин более 2 мм. Прогиб 1/50 пролета	51–60
7 Повсеместные поперечные трещины в плитах, смещение плит из плоскости с заметным прогибом	Прогиб более 1/50 пролета	61–70
8 Конструкция на грани обрушения, которое на отдельных участках уже началось	–	71–80

Для сравнения в таблицах 10.8 и 10.9 соответственно приведены оценка ФИ покрытия из плит ребристых и перекрытия (покрытия) из плит пустотного настила предлагаемым вариантом.

Таблица 10.8 – Оценка ФИ покрытия из плит ребристых (предлагаемая)

Группы признаков износа	Количественная оценка	Физический износ, %	
		Группы признаков	Общий
Покрытие из плит ребристых			
Увлажнение на отдельных участках; сколы бетона продольных и поперечных ребер; недоуплотнение бетона (раковины) на отдельных участках	Повреждения на площади до 10 % Глубина повреждения бетона (сколы) до 20 мм, раковины до 5 мм	1–10	1–10
Увлажнение на отдельных участках, отслаивание бетона защитного слоя по полкам плит на отдельных участках; единичные усадочные трещины	Повреждения на площади до 15 %. Ширина раскрытия трещин до 0,5 мм.	1–5	11–20
Единичные продольные или поперечные трещины по полкам плит, сколы бетона продольных и поперечных ребер; недоуплотнение бетона (раковины) на многочисленных участках	Глубина повреждения бетона (сколы) до 20 мм, раковины до 5 мм	1–5	
Единичные наклонные трещины по полкам плит; сколы бетона по продольным ребрам; следы протечек масел на отдельных участках на нижней поверхности плит	Ширина раскрытия трещин до 0,5 мм.	1–2,5	21–30
Отслаивание бетона защитного слоя по полкам плит на многочисленных участках	Глубина повреждения бетона (сколы) до 30 мм.	1–2,5	
Трещины по полкам плит в местах расположения стержней арматурной сетки на многочисленных участках, оголение и поверхностная коррозия участков арматурной сетки полок	Повреждения на площади до 20 % Прогиб менее либо равен допустимому	1–2,5	
Недостаточная толщина защитного слоя полок плит (просматривается расположение стержней арматурных сеток) на многочисленных участках		1–2,5	

Продолжение таблицы 10.8

Группы признаков износа	Количественная оценка	Физический износ, %	
		Группы признаков	Общий
Оголение и поверхностная коррозия низкой степени интенсивности рабочей арматуры продольных ребер, поперечных ребер – на многочисленных участках	<p>Ширина раскрытия трещин до 1,0 мм.</p> <p>Длина продольных трещин по ребрам до 0,3 длины плиты.</p> <p>Повреждения на площади до 20 %.</p> <p>Прогиб менее либо равен допускаемому.</p> <p>Глубина повреждения бетона до 10 мм</p>	1–2,5	31–40
Единичные продольные трещины по продольным ребрам, по поперечным – на многочисленных участках; размораживание и разрушение бетона ребер и полок плиты на отдельных участках		1–2,5	
Многочисленные трещины по полкам плит, многочисленные технологические отверстия в полках плит, пробитые вручную с разрывом стержней арматурной сетки полки; биоповреждения (плесень, грибок) на многочисленных участках		1–2,5	
Нормальные волосяные трещины по продольным ребрам (прогиб плиты не выявлен), единичные нормальные волосяные трещины по «вутам» плит; прогиб плиты; оголение и поверхностная коррозия низкой степени интенсивности рабочей арматуры продольных ребер, поперечных ребер – на многочисленных участках		1–2,5	
Продольные трещины по продольным ребрам на многочисленных участках; единичные нормальные и поперечные трещины по продольным ребрам; прогиб плиты	<p>Ширина раскрытия продольных трещин до 1,5 мм, остальных – до 0,3 мм.</p> <p>Длина продольных трещин до 0,5 длины плиты.</p> <p>Прогиб на величину до 20 % более допускаемого.</p> <p>Глубина повреждения бетона до 15 мм</p>	1–5	41–50
Оголение и поверхностная коррозия средней степени интенсивности стержней рабочей арматуры продольных ребер на многочисленных участках, на отдельных участках – начало развития коррозии высокой степени интенсивности; размораживание и разрушение бетона на многочисленных участках на глубину до 15 мм		1–5	

Окончание таблицы 10.8

Группы признаков износа	Количественная оценка	Физический износ, %	
		Группы признаков	Общий
Трещины в местах перехода продольного ребра в полку на отдельных участках, разрушение отдельных участков продольных ребер; нормальные трещины по «вугам» плит; размораживание и разрушение бетона на многочисленных участках	Ширина раскрытия трещин до 1,5 мм. Коррозия арматуры до 10 % сечения.	1–5	51–60
Разрушение отдельных опорных зон плиты; многочисленные нормальные и единичные наклонные трещины по боковой поверхности продольных ребер; оголение и поверхностная коррозия высокой степени интенсивности стержней рабочей арматуры продольных ребер на многочисленных участках; прогиб плиты	Глубина повреждения бетона более 15 мм. Прогиб на величину от 20 до 40 % выше допускаемого	1–5	
Трещины в местах перехода продольного ребра в полку на многочисленных участках; разрушение опорных участков продольных ребер; прогиб, смещение плиты	Ширина раскрытия трещин более 1,5 мм. Коррозия арматуры более 20 % сечения.	1–10	61–80
Оголение и поверхностная коррозия высокой степени интенсивности стержней рабочей арматуры продольных ребер	Прогиб на величину более 40 % выше допускаемого	1–10	

Таблица 10.9 – Оценка ФИ покрытия из плит пустотного настила (предлагаемая)

Группы признаков износа	Количественная оценка	Физический износ, %	
		Группы признаков	Общий
Покрытие из плит пустотного настила			
Единичные сколы бетона плит	Ширина раскрытия трещин до 1 мм. Сколы глубиной до 10 мм	1–5	1–10
Трещины по заделке швов между плитами на отдельных участках		1–5	

Продолжение таблицы 10.9

Группы признаков износа	Количественная оценка	Физический износ, %	
		Группы признаков	Общий
Трещины по заделке швов между плитами, отслаивание заделки на отдельных участках	Ширина раскрытия трещин до 1,5 мм. Повреждения на площади до 10 %. Глубина повреждения бетона (раковины) до 5 мм	1–5	11–20
Недоуплотнение (раковины); увлажнение на отдельных участках; отслаивание и разрушение отделочных покрытий потолочной части		1–5	
Отслаивание заделки швов между плитами, разрушение отдельных участков заделки; недоуплотнение (раковины) на многочисленных участках; усадочные трещины, единичные волосяные трещины в местах расположения пуансонных отверстий	Сколы (раковины) глубиной до 10 мм. Повреждения на площади до 20 %	1–5	21–30
Увлажнение на отдельных участках; оголение и поверхностная коррозия низкой степени интенсивности стержней арматурных сеток и рабочей арматуры; отслаивание и разрушение защитного слоя на отдельных участках в местах расположения стержней арматурной сетки		1–5	
Продольные трещины по плитам в местах расположения пуансонных отверстий; единичные поперечные трещины; увлажнение или промерзание отдельных плит; прогиб плит	Ширина раскрытия продольных трещин до 1,0 мм, поперечных – до 0,3 мм. Повреждения на площади до 25 %. Прогиб плиты менее либо равен допускаемому. Глубина повреждения бетона до 20 мм	1–5	31–40

Окончание таблицы 10.9

Группы признаков износа	Количественная оценка	Физический износ, %	
		Группы признаков	Общий
Отслаивание защитного слоя в местах расположения стержней рабочей арматуры; оголение и поверхностная коррозия средней степени интенсивности стержней арматурных сеток и рабочей арматуры; размораживание и разрушение бетона поверхностного слоя (нижней поверхности) плит покрытия на незначительных участках; оголение и поверхностная коррозия средней степени интенсивности стержней арматурных сеток и рабочей арматуры на отдельных участках	Ширина раскрытия продольных трещин до 1,0 мм, поперечных – до 0,3 мм. Повреждения на площади до 25 %. Прогиб плиты менее либо равен допустимому. Глубина повреждения бетона до 20 мм	1–5	31–40
Отслаивание и разрушение защитного слоя, размораживание и разрушение защитного слоя бетона плит покрытия; продольные трещины в местах расположения рабочей арматуры на многочисленных участках	Ширина раскрытия продольных трещин до 1,5 мм, поперечных – до 0,5 мм. Прогиб плиты на величину до 50 % выше допустимого. Повреждения на площади до 50 %.	1–10	41–60
Поперечные трещины по нижней поверхности; прогиб плит; оголение и сплошная поверхностная коррозия высокой степени интенсивности рабочей арматуры	Глубина повреждения бетона более 20 мм	1–10	
Многочисленные поперечные трещины по нижней поверхности плит; продольные трещины в местах расположения рабочей арматуры на многочисленных участках; прогиб плит	Ширина раскрытия продольных трещин более 1,5 мм, поперечных – более 0,5 мм. Прогиб плиты на величину более 50 % выше допустимого.	1–10	61–80
Разрушение защитного слоя бетона на многочисленных участках; оголение и поверхностная коррозия высокой степени интенсивности стержней рабочей арматуры; размораживание и разрушение защитного слоя бетона на многочисленных участках	Повреждения на площади более 50 %	1–10	

Полученные выводы по примеру 2:

– в существующем методе (ТКП 45-1.04-119-2008 (02250)) недостаточно признаков износа для оценки ФИ перекрытий и покрытий из сборных железобетонных элементов;

– существующий метод [87] не позволяет объективно количественно оценить ФИ покрытия из плит ребристых (аналогично – плит пустотного настила);

– в предлагаемом варианте группы признаков износа значительно расширены (представлены наиболее часто встречающиеся по результатам обследований зданий и сооружений дефекты и повреждения) с учетом конструктивных особенностей элементов и скомпонованы по значимости, что дает возможность значительно повысить объективность оценки ФИ.

Таким образом, предлагаемое усовершенствование экспертного метода, не усложняя его, позволяет значительно повысить объективность оценки ФИ элементов, конструкций и зданий в целом.

Предлагаемые усовершенствования оценки и прогнозирования физического износа различных типов конструкций представлены в [99].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Альбрехт, Р.** Дефекты и повреждения строительных конструкций / Р. Альбрехт ; пер. с нем. Е. Ш. Фельдмана. – М. : Стройиздат, 1979. – 208 с.
- 2 **Васильев, А. А.** Предотвращение аварий зданий и сооружений – государственная задача / А. А. Васильев // Реконструкция зданий и сооружений: стандарты, тенденции, инновационные материалы : III практ. конф. – Минск : Отраслевые форумы, 2015. – С. 3–7.
- 3 **Васильев, А. А.** Дефекты и повреждения строительных конструкций: с прилож. на опт. диске : учеб. пособие / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 361 с.
- 4 **Вейц, Р. И.** Производственные дефекты в жилищном строительстве и меры их предупреждения / Р. И. Вейц. – М. : Стройиздат, 1976. – 168 с.
- 5 **Гроздов, В. Т.** Дефекты строительных конструкций и их последствия / В. Т. Гроздов. – СПб. : Общероссийский общественный фонд «Центр качества строительства», 2001. – 148 с.
- 6 **Гроздов, В. Т.** Дефекты основных несущих железобетонных конструкций каркасных многоэтажных промышленных и общественных зданий и методы их устранения / В. Т. Гроздов. – СПб. : ВВКСУ, 1993. – 192 с.
- 7 **Гроздов, В. Т.** Дефекты сборных железобетонных несущих конструкций одноэтажных каркасных промышленных зданий и методы их устранения / В. Т. Гроздов. – СПб. : ВВКСУ, 1993. – 168 с.
- 8 **Гроздов, В. Т.** Дефекты конструкций крупнопанельных зданий, снижающие несущую способность зданий, и их устранение / В. Т. Гроздов. – СПб., 1993. – 96 с.
- 9 **Грунау, Э.** Предупреждение дефектов в строительных конструкциях : пер. с нем. / Э. Грунау. – М. : Стройиздат, 1980. – 215 с.
- 10 **Обследование и испытание зданий и сооружений : учеб.** / В. Г. Казачек [и др.] ; под ред. В. И. Римшина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2007. – 655 с.
- 11 **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.
- 12 **Рибицки, Р.** Повреждения и дефекты строительных конструкций / Р. Рибицки. – М. : Стройиздат, 1982. – 432 с.
- 13 **Руфферт, Г.** Дефекты бетонных конструкций / Г. Руфферт ; пер. с нем. И. Г. Зеленцова ; под ред. Б. В. Семенова. – М. : Стройиздат, 1987. – 111 с.
- 14 **Физдель, И. А.** Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их устранения / И. А. Физдель. – М. : Стройиздат, 1978. – 161 с.
- 15 **Физдель, И. А.** Дефекты в конструкциях и сооружениях и методы их устранения / И. А. Физдель. – М. : Стройиздат, 1984. – 319 с.
- 16 **Васильев, А. А.** Техническое обследование строительных объектов (с электронным приложением) : учеб. / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 429 с.

- 17 **Бойко, М. Д.** Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / М. Д. Бойко. – Л. : Стройиздат, 1975. – 336 с.
- 18 **Бондаренко, В. М.** Износ, повреждения и безопасность железобетонных сооружений / В. М. Бондаренко, А. В. Боровских. – М. : ИД Русанова, 2000. – 144 с.
- 19 **Гучкин, И. С.** Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций / И. С. Гучкин. – М. : АСВ, 2001. – 176 с.
- 20 **Добромыслов, А. Н.** Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений : справ. пособие / А. Н. Добромыслов. – М. : АСВ, 2006. – 256 с.
- 21 **Калакот, Р.** Диагностика повреждений / Р. Калакот. – М. : Мир, 1989. – 515 с.
- 22 **Васильев, А. А.** Оценка поврежденности железобетонных элементов, эксплуатирующихся в условиях агрессивной среды сельскохозяйственных помещений / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 2 (23). – С. 81–83.
- 23 **Васильев, А. А.** Прогнозирование коррозионной поврежденности железобетонных элементов для различных условий эксплуатации / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 2 (39). – С. 37–39.
- 24 Коррозия конструкционных материалов : в 2 кн. / В. В. Батраков [и др.]. – М., 1990. – 320 с.
- 25 Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980. – 533 с.
- 26 **Неверов, А. С.** Коррозия и защита материалов : учеб. пособие / А. С. Неверов, Д. А. Родченко, М. И. Цырлин. – Минск. : Выш. шк., 2007. – 222 с.
- 27 **Пухонто, Л. М.** Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) : [монография] / Л. М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.
- 28 **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.
- 29 **Васильев, А. А.** Оценка развития коррозии стальной арматуры в зависимости от толщины защитного слоя бетонов различных классов по прочности на сжатие / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. – Минск, 2018. – Вып. 10. – С. 121–134.
- 30 **Васильев, А. А.** Исследование изменения напряженно-деформированного состояния несущих элементов фермы вследствие их коррозии / А. А. Васильев, О. В. Козунова, Р. В. Кумашов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. ; под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 312–314.
- 31 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 32 СН 2.01.07-2020. Защита строительных конструкций от коррозии.– Введ. 2020–09–17. – Минск : М-во archit. и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 59 с.
- 33 **Васильев, А. А.** Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
- 34 **Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.
- 35 Альбом пороков древесины / А. Т. Вакин [и др.] ; под ред. С. Н. Горошина. – М. : Лесная промышленность, 1969. – 164 с.

36 **Андреюк, Е. И.** Литотрофные бактерии и микробиологическая коррозия / Е. И. Андреюк, И. А. Козлова. – Киев : Наук. думка, 1977. – 164 с.

37 Биоповреждения : учеб. для высш. шк. / под ред. В. Д. Ильичева. – М. : Высш. шк., 1987. – 352 с.

38 Биоповреждения в строительстве / Ф. М. Иванов [и др.] ; под ред. Ф. М. Иванова, С. Н. Горшина. – М. : Стройиздат, 1984. – 320 с.

39 **Богомолов, Б. Д.** Химия древесины / Б. Д. Богомолов. – М. : Экология, 1973. – 224 с.

40 **Каневская, И. Г.** Биологическое повреждение промышленных материалов / И. Г. Каневская. – Л. : Наука, Ленингр. отд., 1984. – 230 с.

41 Микробная коррозия и ее возбудители / Е. И. Андреюк [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1980. – 288 с.

42 **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.

43 Рекомендации по определению технического состояния ограждающих конструкций промышленных зданий. – М. : Стройиздат, 1988. – 153 с.

44 **Соколов, В. А.** Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа / В. А. Соколов // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7 (25). – С. 45–51.

45 **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.

46 СН 1.04.01-2020. Техническое состояние зданий и сооружений. – Введ. 2020–10–27. – Минск : М-во archit. и стр-ва Респ. Беларусь, 2021. – 68 с.

47 СП 1.04.02-2022. Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений. – Введ. 2022–05–05. – Минск : М-во archit. и стр-ва Респ. Беларусь, 2022. – 78 с.

48 Комплексная оценка состояния длительно эксплуатируемых железобетонных конструкций : практ. пособие / Т. М. Пецольд [и др.] ; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 31 с.

49 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.

50 **Васильев, А. А.** Совершенствование оценки технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах с учетом их коррозионного износа / А. А. Васильев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2010. – № 6. – С. 17–23.

51 **Васильев, А. А.** Совершенствование методов оценки технического состояния железобетонных элементов, эксплуатирующихся в условиях атмосферной агрессии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2 (41). – С. 21–28.

52 **Васильев, А. А.** Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 9. – С. 148–167.

53 **Бабушкин, В. И.** Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян ; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – 4-е изд. – М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.

54 **Кудрявцев, И. А.** Исследование карбонизации железобетонных конструкций с длительным сроком эксплуатации / И. А. Кудрявцев, В. П. Богданов // Материалы, технологии, инструменты. – 2000. – Т. 5, № 3. – С. 97–100.

55 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

56 Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. – М. : ЦНИИПромзданий, 1989. – 112 с.

57 **Бузало, Н. А.** Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий / Н. А. Бузало, А. В. Канунников // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 3. – С. 3–11.

58 **Васильев, А. А.** Оценка граничных значений характеристик надежности для различных категорий технического состояния железобетонных конструкций / А. А. Васильев, В. М. Швед, В. О. Бондаренко // «WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS» : сб. ст. XL междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и просвещение. – 2020. – С. 28–30.

59 К вопросу оценки остаточного ресурса зданий и сооружений / А. А. Васильев [и др.] // «OPEN INNOVATION» : сб. статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение. – 2019. – С. 46–49.

60 **Пухонто, Л. М.** Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) / Л. М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.

61 **Бойко, М. Д.** Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / М. Д. Бойко. – М. : Стройиздат, 1975. – 334 с.

62 **Васильев, А. А.** Оценка коэффициентов значимости конструкций бескаркасных зданий / А. А. Васильев, В. М. Швед, А. А. Храмова // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение, 2020. – С. 25–29.

63 **Гаврильев, И. М.** Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения / И. М. Гаврильев, Д. И. Корольков, М. В. Гравит // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 2. – Т. 11. – С. 1–14.

64 **Головина, Н. В.** Сравнительный анализ нелинейных моделей прогнозирования остаточного ресурса и работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / Н. В. Головина, Г. Д. Шмелев // Архитектура и градостроительство. Реконструкция и реставрация // Вестник МГСУ. – 2016. – № 5. – С. 10–15.

65 **Евтушенко, С. И.** К вопросу об остаточном ресурсе длительно эксплуатируемых мостов через водопроводящие каналы / С. И. Евтушенко, М. П. Крахмальная, Т. А. Крахмальный // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 35 (54). – С. 166–170.

66 **Козлов, В. А.** Обоснование интервального метода прогнозирования и оценки остаточного ресурса строительных конструкций зданий и инженерных сооружений / В. А. Козлов, Г. Д. Шмелев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 4 (32). – С. 11–18.

67 **Мельчаков, А. П.** Расчет безопасного ресурса зданий и сооружений / А. П. Мельчаков, В. Г. Косогоров, И. С. Никольский. – М. : Вестник ЮУрГУ. Сер. Строительство и архитектура, 2005. – С. 31–33.

68 **Пермяков, М. Б.** Расчет и оценка остаточного ресурса зданий / М. Б. Пермяков // Современные строительные технологии, конструкции и материалы : сб. науч. тр. ; под ред. М. Б. Пермякова. – Магнитогорск : Магнитогор. гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова, 2011. – С. 17–22.

69 **Суцев, С. П.** Остаточный ресурс конструкций (сооружений) и возможные методы его оценки / С. П. Суцев, Н. А. Самолинов, И. А. Адаменко // Предотвращение аварий зданий и сооружений : сб. науч. тр. – Вып. 8. – М. : МДП, 2009. – С. 320–327.

70 **Шмелев, В. Я.** Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу / В. Я. Шмелев // Строительство и реконструкция. – 2014. – № 3 (53). – С. 31–39.

71 **Шмелев, Г. Д.** Параметрические методы прогнозирования остаточных сроков службы железобетонных строительных конструкций / Г. Д. Шмелев, И. В. Николайчев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного материаловедения. – 2013. – № 7. – С. 167–175.

72 **Шмелев, Г. Д.** Прогнозирование остаточного ресурса и надежности строительных конструкций с использованием нелинейной модели развития физического износа / Г. Д. Шмелев, Н. В. Головина // Строительство – формирование среды жизнедеятельности : сб. тезисов Шестнадцатой междунар. межвуз. науч.-практ. конф. студ., магистр., асп. и мол. уч. (г. Москва, 24–26 апреля 2013 г.). – М. : МГСУ, 2013. – С. 163–165.

73 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений. – М. : Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве, 2018. – 50 с.

74 **Аридова, С. В.** Техничко-экономическое обоснование реконструкции промышленных объектов на основании расчета показателей физического износа / С. В. Аридова, Т. В. Белых, Е. В. Кобзев // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2016. – № 8 (18). – С. 37–43.

75 **Байбурун, А. Х.** Исследование влияния качества строительства на эксплуатационную надежность зданий / А. Х. Байбурун. – М. : Челябинск : ЮУрГУ, 2011. – С. 11–15.

76 **Башкатов, В. С.** Физический износ при оценке объектов недвижимости / В. С. Башкатов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.oorgcn.ru/fi.pdf>. – Дата доступа : 23.02.2021.

77 **Белых, А. В.** Методика определения величины физического износа жилых зданий для целей массовой оценки / А. В. Белых // Журнал правовых и экономических исследований. – 2013. – № 2. – С. 78–86.

78 **Булаво, А. Н.** Анализ существующих методов оценки физического износа зданий и сооружений / А. Н. Булаво, А. А. Васильев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 280–281.

79 **Булаво, А. Н.** О необходимости разработки новых методик оценки физического износа зданий и сооружений / А. Н. Булаво, А. А. Васильев // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. – Гомель : БелГУТ, 2016. – Ч. 1. – С. 50–54.

80 **Васильев, А. А.** Анализ существующей оценки физического износа конструкций зданий и сооружений / А. А. Васильев // «OPEN INNOVATION» : сб. статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение. – 2019. – С. 36–38.

81 **Васильев, А. А.** О подходах к оценке физического износа зданий и сооружений / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2009. – № 5 (26). – С. 70–76.

82 **Васильев, А. А.** Оценка физического износа промышленных зданий / А. А. Васильев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорусско-Российский университет, 2011. – Ч. 2. – С. 93–94.

83 **Васильев, А. А.** Роль физического износа и его оценки в системе технической эксплуатации зданий / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2009. – № 2 (19). – С. 72–79.

84 **Васильев, А. А.** Оценка физического износа жилых, общественных и промышленных зданий : практ. пособие / А. А. Васильев, К. Н. Пироговский, С. В. Дзирко ; под. ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 207 с.

85 **Васильев, А. А.** Прогнозирование физического износа железобетонных элементов и конструкций для различных типов зданий и сооружений / А. А. Васильев, Д. А. Яньшина, А. А. Храмова // Наука. Инновации, образование: [монография]. – Пенза, 2021. – С. 149–160.

86 **ВСН 53-86 (р).** Правила оценки физического износа жилых зданий. – М. : Прейскурантиздат, 1988. – 30 с.

87 **ТКП 45-1.04-119-2008 (02250).** Здания и сооружения. Оценка степени физического износа. – Минск, 2009. – 43 с.

88 **Гордеева, О. Г.** Расчетно-экспериментальные методы экспресс-оценки физического износа и остаточного ресурса зданий и сооружений : дис. ... канд. техн. наук / О. Г. Гордеева. – Новогорск, 2002. – 142 с.

89 **Горшков, А. С.** Модель физического износа строительных конструкций / А. С. Горшков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 12 (191). – С. 34–37.

90 **Запащикова, Н. П.** Оценка надежности ограждающих конструкций зданий методами физического и вероятностного моделирования / Н. П. Запащикова // Интернет-журнал «Науковедение». – Вып. 5 (24), сентябрь – октябрь 2014. – С. 1–9.

91 **Корсаков, Р. О.** Величина физического износа объектов капитального строительства на основании данных учета МОБТИ / Р. О. Корсаков // Аверс [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа : <http://www.avg.ru/docs/2015-10-28-model-fizicheskogo-iznosa-oks-2015.pdf>. – Дата доступа : 01.03.2021.

92 **Плотников, К. М.** Методика расчета физического износа жилых зданий по правилам оценки ВСН 53-86 / К. М. Плотников, П. М. Симонов. – С. 1369–1372.

93 **Попова, О. Н.** Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий / О. Н. Попова, Т. Л. Симанкина // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7. – С. 40–48.

94 **Симанкина, Т. Л.** Оценка физического износа зданий с применением визуального моделирования дефектов / Т. Л. Симанкина, Н. В. Ширко // Известия вузов. Строительство. – 2011. – № 7 (633). – С. 91–97.

95 **Симанкина, Т. Л.** Создание графических образов физического износа объектов и связанных с ним затрат / Т. Л. Симанкина, Н. В. Ширко // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 4 (29). – С. 30–37.

96 **Соколов, В. А.** Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики / В. А. Соколов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 1 (661). – С. 94–100.

97 **Субботин, А. И.** Об определении физического износа зданий на основе новых подходов по расчету удельного веса видов конструкций на основе геометрического определения вероятности / А. И. Субботин, М. Н. Шутова, С. В. Болдарев // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений : материалы 15-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 30 октября 2015 г. – Новочеркасск : ЮРГПУ (НПИ), 2015. – С. 108–111.

98 **Тарарушкин, Е. В.** Применение нечеткой логики для оценки физического износа несущих конструкций зданий / Е. В. Тарарушкин // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2016. – № 10. – С. 77–82.

99 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование физического износа строительных конструкций, зданий и сооружений : [монография] / А. А. Васильев – Гомель : БелГУТ, 2021. – 189 с.

100 **Васильев, А. А.** Оценка постоянной физического износа железобетонных элементов и конструкций для различной агрессивности эксплуатационной среды / А. А. Васильев [и др.] // Наука, общество, образование в эпоху цифровизации и глобальных изменений : [монография] / М. Н. Алешина [и др.] ; под общ. ред. Г. Ю. Гуляева. – Пенза : Наука и Просвещение, 2022. – Разд. II. Гл. 7. – С. 94–108.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

**ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАРБОНАТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
И ПОКАЗАТЕЛЯ ПОРОВОЙ ЖИДКОСТИ
ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
В ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ ФРАКЦИИ БЕТОНА**

Определения

В настоящих методах применены следующие термины с соответствующими определениями:

Единичная проба – проба бетона из обследуемой железобетонной конструкции мостового сооружения, отбираемая в определенное время в одном месте, достаточная для проведения испытаний.

Лабораторная проба – часть смешанной пробы, подготовленная посредством гомогенизации и уменьшения и предназначенная для приготовления средней аналитической пробы.

Смешанная проба – гомогенная смесь измельченной единичной пробы бетона, отобранной в определенное время в одном месте из одной железобетонной конструкции.

Средняя аналитическая проба – проба бетона, приготовленная из лабораторной пробы и предназначенная непосредственно для испытаний.

Титрованный раствор – раствор, приготовленный из стандарт-титра.

Остальные термины и определения приняты в соответствии с действующими нормативными документами.

**А.1 ЭКСПРЕСС-МЕТОД
ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАРБОНАТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ (ПОКАЗАТЕЛЯ КС)
В ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ ФРАКЦИИ БЕТОНА**

Общие положения

1 Карбонатная составляющая бетона характеризует процентное содержание карбонатов кальция в цементно-песчаной фракции бетона.

2 Определение карбонатной составляющей бетона в соответствии с настоящим методом основано на растворении навески, отобранной из средней аналитической пробы бетона, в соляной кислоте и измерении объема выделяющегося при этом диоксида углерода в соответствии с реакцией



3 При проведении анализа пробы бетона массу навески в граммах определяют с точностью до 0,0001 г, объемы, измеряемые бюреткой, – в сантиметрах кубических с точностью до 0,05 см³.

- 4 Концентрацию растворов выражают:
- массовой долей в процентах, численно равной массе вещества в граммах на 100 г раствора;
 - молярной концентрацией вещества – эквивалента в молях на кубический дециметр раствора (Н);
 - соотношением объемных частей (например, 1:3), где первое число обозначает объемную часть концентрированной кислоты, второе – объемную часть воды.

**Средства измерений, испытательное оборудование,
реактивы и материалы**

1 Средства измерений.

Весы аналитические с ценой деления 0,0001 г, пределом взвешивания 200 г по ГОСТ 24104.

Весы лабораторные с ценой деления 0,01 и 1,0 г по ГОСТ 24104.

2 Испытательное оборудование.

Сушильный шкаф, обеспечивающий автоматическое регулирование температуры в диапазоне $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613.

Прибор для определения степени карбонизации бетона (рисунок А.1).

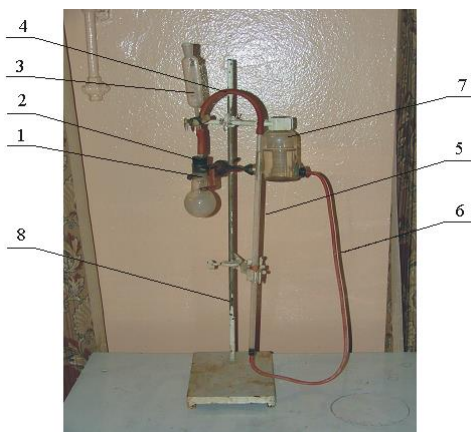
Пипетки по ГОСТ 29230.

Бюретки по ГОСТ 29251 II класса точности.

Колбы мерные с притертыми пробками вместимостью 100 см³, колбы круглодонные вместимостью 50 см³ и стеклянные воронки диаметром 9–10 см по ГОСТ 25336.

Цилиндры вместимостью 10 и 25 см³ по ГОСТ 1770.

Стеклянные стаканы для взвешивания с притертой крышкой.



- 1 – круглодонная колба;
- 2 – резиновая пробка;
- 3 – дозирующее устройство;
- 4 – резиновая трубка;
- 5 – мерная бюретка;
- 6 – резиновый шланг;
- 7 – уравнильный сосуд;
- 8 – штатив

Рисунок А.1 – Установка для определения карбонатной составляющей

3 Реактивы и материалы.

Кислота соляная (HCl) плотностью 1,19 г/см³ по ГОСТ 3118 и раствор соляной кислоты концентрацией 1:3.

Кислота соляная концентрацией HCl = 3 моль/дм³ (3Н).

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Условия испытаний

При проведении испытаний внешние воздействующие факторы не должны превышать следующих значений:

- температура воздуха – (20 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха – (75 ± 10) %.

Требования безопасности при проведении испытаний

1 Лабораторные помещения, в которых выполняются испытания бетона, должны быть оборудованы вентиляционными системами по ГОСТ 12.4.021. При эксплуатации электроприборов, используемых в процессе анализа, должны выполняться требования электробезопасности согласно ГОСТ 12.1.019.

2 При применении в качестве реактивов токсичных (вредных) веществ следует руководствоваться требованиями безопасности, изложенными в нормативных документах на эти реактивы. Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны должна соответствовать гигиеническим регламентам, установленным ГОСТ 12.1.005 и СанПиН № 11-19.

3 Периодичность контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливается в зависимости от их класса опасности в соответствии с п. 3.2.6 СанПиН № 11-19.

4 Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны выполняют по методикам, входящим в Перечень методик, утвержденный Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь и согласованный Госстандартом Республики Беларусь 10 сентября 2002 г.

5 При работе с вредными веществами должны быть соблюдены правила безопасности, действующие в химических лабораториях. При этом следует применять индивидуальные средства защиты (респираторы) по ГОСТ 12.4.011 или ГОСТ 12.4.028, резиновые перчатки по ГОСТ 12.4.103, одежду по ГОСТ 27652, ГОСТ 27654, ГОСТ 29057 и ГОСТ 29058.

Подготовка к испытаниям

Приготовление реактивов.

Титрованный раствор соляной кислоты (3Н) готовят из стандарт-титра, для чего содержимое трех ампул кислоты переносят в мерную колбу вместимостью 100 см³ в следующем порядке:

- наружную поверхность ампул промывают дистиллированной водой;
- в мерную колбу вместимостью 100 см³ помещают воронку диаметром 9–10 см;

– держа ампулу над воронкой, с помощью стеклянного бойка пробивают отверстие в утонченном углублении ампулы, осторожно переворачивают ампулу, не вынося ее за пределы воронки, пробивают бойком отверстие в противоположном углублении и выливают содержимое ампулы через воронку в колбу;

– ампулу тщательно промывают изнутри через верхнее отверстие дистиллированной водой;

– для разбавления перенесенной кислоты добавляют в мерную колбу дистиллированную воду до 2/3 объема колбы;

– после полного растворения содержимого ампулы объем раствора в колбе доводят дистиллированной водой до метки, соответствующей объему, равному 100 см^3 , и тщательно перемешивают содержимое колбы.

Отбор образцов бетона и подготовка пробы.

1 Для определения карбонатной составляющей бетона используют среднюю аналитическую пробу бетона, приготовленную из образцов-кернов, отобранных по ГОСТ 28570 из эксплуатируемых бетонных и железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) образцов-сколов, образующихся при определении прочности бетона конструкций по ГОСТ 22690, а также образцов, отобранных другими способами.

2 Для анализа отбирают пробы защитного слоя бетона в зоне расположения арматуры, а также порошки, получаемые выбуриванием по сечению ЖБЭ и ЖБК до глубины 100 мм и кубов сеч. $100 \times 100 \times 100$ мм до глубины 50 мм.

Отбор образцов производят при проведении обследований ЖБЭ и ЖБК. Предварительно бетонная поверхность должна быть тщательно очищена от всякого рода загрязнений, штукатурного слоя, краски и, при наличии, слоя ремонтного материала.

В отобранных образцах отделяют слой бетона толщиной ≈ 10 мм. Отделенные фрагменты защитного слоя объединяют в единичную пробу. Количество отбираемых единичных проб определяют в зависимости от вида и эксплуатационного состояния конструкций.

3 Перед проведением испытания единичную пробу бетона измельчают в фарфоровой ступке ударами, не растирая, и отделяют крупный заполнитель. Из измельченной единичной пробы бетона формируют смешанную пробу, которую квартованием сокращают до лабораторной пробы массой (10 ± 2) г.

4 Лабораторную пробу высушивают при температуре (105 ± 5) °С до влажности $(1,5 \pm 0,5)$ %, дополнительно измельчают в фарфоровой или агатовой ступке для отделения цементного камня от заполнителя и формируют из нее для анализа среднюю аналитическую пробу массой $(0,5 \pm 0,005)$ г путем просеивания через сито с сеткой № 01 по ГОСТ 6613.

5 Подготовленную среднюю аналитическую пробу хранят в стеклянном стакане для взвешивания с притертой крышкой – для защиты от воздействия окружающей среды.

Проведение испытаний

1 Перед отбором навески подготовленную в соответствии с пп.1–5 на с.156, 157 среднюю аналитическую пробу бетона, помещенную в стеклянный стакан для взвешивания, гомогенизируют и высушивают в сушильном шкафу при температуре (105 ± 5) °С до постоянной массы, после чего охлаждают в эксикаторе над хлоридом кальция.

2 Постоянство массы считается достигнутым, если разница между двумя последовательными взвешиваниями не превышает 0,0004 г. Если при повторном взвешивании масса навески увеличивается, то для расчета применяют массу, предшествующую ее увеличению. При этом первое взвешивание осуществляют через 1,5–2 ч.

Допускается проводить анализ из воздушно-сухой навески с последующим пересчетом на навеску, высушенную до постоянной массы (сухую). Массу сухой навески m , г, вычисляют по формуле

$$m = m_0(100 - W) / 100, \quad (\text{A.1})$$

где m_0 – масса навески в воздушно-сухом состоянии, г; W – массовая доля влаги в навеске, определенная по ГОСТ 5382.

3 Из высушенной до постоянной массы (воздушно-сухой) средней аналитической пробы бетона отбирают навеску массой $(0,5 \pm 0,005$ г.).

4 Собирают прибор для определения карбонатной составляющей (КС) бетона (см. рисунок А.1).

5 Уровень воды в мерной бюретке 5 устанавливают на нулевую отметку вертикальным перемещением уравнительного сосуда 7.

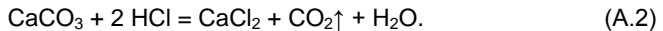
6 Навеску анализируемой пробы 0,5 г засыпают в круглодонную колбу 1 и закрывают резиновой пробкой 2.

7 Перекрывают кран дозатора 3 и заливают в него раствор соляной кислоты (3Н).

8 Перед подачей раствора соляной кислоты в круглодонную колбу 1 в ней создают небольшой вакуум опусканием уравнительного сосуда 7 на 5 см ниже начального уровня воды в мерной бюретке 5.

9 Открывая кран дозатора 3, подают раствор кислоты (3 см^3) в колбу 1.

10 Измеряют объем газа, выделившегося в мерную бюретку 5, с точностью до $0,05 \text{ см}^3$ при протекании реакции



Из полученного значения объема вычитают объем залитой кислоты (3 см^3).

11 Содержание карбонатной составляющей, %,

$$\text{КС} = 0,16 \frac{P_p V_p}{m_n T}, \quad (\text{A.3})$$

где P_p – парциальное давление газа, Па (мм рт. ст.); V_p – объем газа, выделяющегося при анализе, см^3 ; m_n – масса навески анализируемой пробы, г; T – температура по шкале Кельвина; 0,16 – постоянный множитель, полученный приведением условий к нормальным.

12 Парциальное давление газа P_p рассчитывают по формуле

$$P_p = P_t - P_B - 0,125t, \quad (\text{A.4})$$

где P_t – показания барометра в момент анализа, Па (мм рт. ст.); P_B – давление насыщенного водяного пара, Па (мм рт. ст.) (в соответствии с таблицей А.1); $0,125t$ – поправка на показания барометра для приведения их к нормальным условиям; t – температура воздуха в помещении, °С.

13 За результат анализа принимают среднее арифметическое значение двух определений, выраженное в процентах с точностью до ± 1 %.

14 Допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 %. При большем расхождении проводят повторное определение.

Таблица А.1 – Давление насыщенного водяного пара

t , °С	P_B , мм рт. ст.	t , °С	P_B , мм рт. ст.	t , °С	P_B , мм рт. ст.	t , °С	P_B , мм рт. ст.	t , °С	P_B , мм рт. ст.
10	9,2	15	12,8	20	17,5	25	23,8	30	31,8
11	9,8	16	13,6	21	18,6	26	25,2	31	33,7
12	10,5	17	14,5	22	19,8	27	26,7	32	35,7
13	11,2	18	15,5	23	21,1	28	28,3	33	37,7
14	12,0	19	16,5	24	22,4	29	30,0	34	39,9

15 Настоящая методика определения карбонатной составляющей бетона обеспечивает получение результатов испытаний с точностью ± 1 %, что является достаточным, так как при отборе для анализа образцов в порошкообразном состоянии ошибка может достигать 3 % за счет вероятностного характера распределения карбонизированного цементного камня в смеси с песком.

Преимущество методики – в скорости проведения анализа при достаточной для практических целей точности.

А.2 ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОРОВОЙ ЖИДКОСТИ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ (ПОКАЗАТЕЛЯ рН) В ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ ФРАКЦИИ БЕТОНА

Общие положения

1 Показатель водной вытяжки цементного камня (показатель рН) характеризует щелочность поровой жидкости бетона.

2 Определение показателя рН водной вытяжки цементного камня (в дальнейшем – показателя рН) в соответствии с настоящим методом основано на получении суспензии из средней аналитической пробы бетона и измерении показателя ее щелочности.

3 При проведении анализа пробы бетона массу навески в граммах определяют с точностью до 0,001 г, объемы, измеряемые бюреткой, – в сантиметрах кубических с точностью до 0,05 см³.

4 Концентрацию растворов выражают:

– массовой долей в процентах, численно равной массе вещества в граммах на 100 г раствора;

– молярной концентрацией вещества – эквивалента в молях на кубический дециметр раствора (Н);

– соотношением объемных частей (например, 1:3), где первое число обозначает объемную часть концентрированной кислоты, второе – объемную часть воды.

Средства измерений, испытательное оборудование, реактивы и материалы

1 Средства измерений.

Весы аналитические с ценой деления 0,001 г, пределом взвешивания 200 г по ГОСТ 24104.

Весы лабораторные с ценой деления 0,01 и 1,0 г по ГОСТ 24104.

2 Испытательное оборудование.

Сушильный шкаф, обеспечивающий автоматическое регулирование температуры в диапазоне (105 ± 5) °С.

Сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613.

Прибор для определения показателя рН (рисунок А.2).

Колбы мерные с притертыми пробками вместимостью 100 см³, колбы круглодонные вместимостью 50 см³ и стеклянные воронки диаметром 9–10 см по ГОСТ 25336.

Цилиндры вместимостью 10 и 25 см³ по ГОСТ 1770.

Стеклянные стаканы для взвешивания с притертой крышечкой.

Термометр ртутный с пределами измерения от 0 до 55 °С, ценой деления 0,5 °С.

3 Реактивы и материалы.

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Стандарт-титры для приготовления образцовых буферных растворов 2-го разряда ГОСТ 8135-2004 (типы 3, 4, 5).

Условия испытаний

При проведении испытаний внешние воздействующие факторы не должны превышать следующих значений:

– температура анализируемой среды – (20 ± 5) °С;

– относительная влажность воздуха – $(30–80)$ %;

– точность поддержания в течение не менее перед снятием отсчета – $\pm 0,2$ °С;

– напряжение питающей сети – (220 ± 22) В;

– частота питающей сети – $(50 \pm 0,5)$ Гц.



Рисунок А.2 – Исследование образца цементно-песчаной фракции анализатором жидкости «ЭКСПЕРТ–001-1»

Требования безопасности при проведении испытаний

1 Лабораторные помещения, в которых выполняются испытания бетона, должны быть оборудованы вентиляционными системами по ГОСТ 12.4.021. При эксплуатации электроприборов, используемых в процессе анализа, должны выполняться требования электробезопасности согласно ГОСТ 12.1.019.

2 При применении в качестве реактивов токсичных (вредных) веществ следует руководствоваться требованиями безопасности, изложенными в нормативных документах на эти реактивы. Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны должна соответствовать гигиеническим регламентам, установленным ГОСТ 12.1.005 и СанПиН № 11-19.

3 Периодичность контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливается в зависимости от их класса опасности в соответствии с п. 3.2.6 СанПиН № 11-19.

4 Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны выполняют по методикам, входящим в Перечень методик, утвержденный Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь и согласованный Госстандартом Республики Беларусь 10 сентября 2002 г.

5 При работе с вредными веществами должны быть соблюдены правила безопасности, действующие в химических лабораториях. При этом следует применять индивидуальные средства защиты (респираторы) по ГОСТ 12.4.011 или ГОСТ 12.4.028, резиновые перчатки по ГОСТ 12.4.103, одежду по ГОСТ 27652, ГОСТ 27654, ГОСТ 29057 и ГОСТ 29058.

Подготовка к испытаниям

Приготовление реактивов.

Буферные растворы приготавливаются из реактивов квалификации для рН-метрии.

Для приготовления буферных растворов применяется дистиллированная вода, прокипяченная в течение 30–40 мин для удаления растворенной углекислоты.

Буферный раствор готовят из стандарт-титра в следующем порядке:

– в стандарт-титре, выполненном в виде запаянной стеклянной колбочки и содержащем требуемое количество буфера (0,01–0,1 моль/кг), пробивается отверстие с помощью специального ударника;

– содержимое выливается в мерную колбу на 1000 мл и доводится до метки дистиллированной водой.

Тип буфера и его количество выбирается в зависимости от требуемого для настройки прибора значения рН и температуры по ГОСТ 8.134-98.

Подготовка электродов к работе.

Подготовка электродов к работе производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в паспортах на соответствующие электроды.

Во избежание образования кристаллов КСl в полости (вспомогательных) электродов при работе и хранении необходимо следить, чтобы электролиты-

ческий ключ находился в растворе и уровень раствора KCl в полости электрода был выше уровня контрольного раствора.

Настройка рН-метров по буферным растворам.

Настройку рН-метра для работы в растворах с постоянной температурой производится по буферным растворам ГОСТ 8.134-98, имеющим эту же температуру.

Рекомендуется следующий порядок настройки рН-метра по двум буферным растворам с температурой, близкой к температуре анализируемой среды:

- выбирается род температурной компенсации:
- при ручной термокомпенсации устанавливается значение температуры буферного раствора; измеренной стеклянным термометром с ценой деления не более 0,5 °С;
- при автоматической термокомпенсации температура раствора должна измеряться с точностью до 1 °С;
- электроды погружаются в первый буферный раствор с температурой t (величина рН этого буферного раствора при 20 °С равна 4,001 рН ГОСТ 4.134-98) и, вращая ручку резистора, «БУФЕР» устанавливается на индикаторе значение, равное значению рН при температуре t ;
- электрод промывается дистиллированной водой, осушивается фильтровальной бумагой и погружается во второй буферный раствор с температурой t (величина рН этого буферного раствора при 20 °С должна быть близка к началу (концу) диапазона измерения анализируемых растворов);
- при вращении ручки резистора S на индикаторе устанавливается значение, равное значению рН буферного раствора при данной температуре t .

Отбор образцов бетона и подготовка пробы.

1 Для определения показателя рН водной вытяжки цементного камня бетона используют среднюю аналитическую пробу бетона, приготовленную из образцов-кернов, отобранных по ГОСТ 28570 из эксплуатируемых бетонных и железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) образцов-сколов, образующихся при определении прочности бетона конструкций по ГОСТ 22690, а также образцов, отобранных другими способами.

2 Для анализа отбирают пробы защитного слоя бетона в зоне расположения арматуры, а также порошки, получаемые выбуриванием по сечению ЖБЭ и ЖБК до глубины 100 мм и кубов сеч. 100×100×100 мм до глубины 50 мм.

Отбор образцов производят при проведении обследований ЖБЭ и ЖБК. Предварительно бетонная поверхность должна быть тщательно очищена от всякого рода загрязнений, штукатурного слоя, краски и, при наличии, слоя ремонтного материала.

В отобранных образцах отделяют слой бетона толщиной ≈10 мм. Отделенные фрагменты защитного слоя объединяют в единичную пробу. Количество отбираемых единичных проб определяют в зависимости от вида и эксплуатационного состояния элементов и конструкций.

3 Перед проведением испытания единичную пробу бетона измельчают в фарфоровой ступке ударами, не растирая, и отделяют крупный наполнитель.

Из измельченной единичной пробы бетона формируют смешанную пробу, которую квартованием сокращают до лабораторной пробы массой (10 ± 2) г.

4 Лабораторную пробу высушивают при температуре (105 ± 5) °С до влажности $(1,5 \pm 0,5)$ %, дополнительно измельчают в фарфоровой или агатовой ступке для отделения цементного камня от заполнителя и формируют из нее для анализа среднюю аналитическую пробу массой $(0,5 \pm 0,005)$ г.) путем просеивания через сито с сеткой № 01 по ГОСТ 6613.

5 Подготовленную среднюю аналитическую пробу хранят в стеклянном стакане для взвешивания с притертой крышкой – для защиты от воздействия окружающей среды.

Проведение испытаний

1 Перед отбором навески подготовленную в соответствии с пп.1–5 на с.156, 157 среднюю аналитическую пробу бетона, помещенную в стеклянный стакан для взвешивания, гомогенизируют и высушивают в сушильном шкафу при температуре (105 ± 5) °С до постоянной массы, после чего охлаждают в эксикаторе над хлоридом кальция.

2 Постоянство массы считается достигнутым, если разница между двумя последовательными взвешиваниями не превышает 0,0004 г. Если при повторном взвешивании масса навески увеличивается, то для расчета применяют массу, предшествующую ее увеличению. При этом первое взвешивание осуществляют через 1,5–2 ч.

Допускается проводить анализ из воздушно-сухой навески с последующим пересчетом на навеску, высушенную до постоянной массы (сухую). Массу сухой навески m , г, вычисляют по формуле (А.1).

3 Из высушенной до постоянной массы (воздушно-сухой) средней аналитической пробы бетона отбирают навеску массой $(0,5 \pm 0,005)$ г).

4 Собирают прибор для определения показателя рН цементно-песчаной фракции (см. рисунок А.2).

5 В мерную колбу вместимостью 50 см³ засыпается навеска исследуемого порошка массой 2,5 г и заливается дистиллированной водой до метки.

6 Полученная суспензия выстаивается в течение 1 ч при постоянном перемешивании через 10–15 мин.

7 В стеклянный стакан вместимостью 50 см³ заливается 30 см³ исследуемого раствора водной вытяжки.

8 В контролируемый раствор погружаются электроды. Перед погружением электроды промываются дистиллированной водой, остатки воды с электрода удаляются фильтровальной бумагой.

9 Значения показателя рН фиксируются после 3 мин выдержки индикаторного электрода в растворе.

Замеры производятся на неотфильтрованных растворах.

Водородный показатель поровой влаги pH измерялся анализатором жидкости «ЭКСПЕРТ-001-1» со стеклянным электродом ЭС-10601. Электродом сравнения служил электрод ЭВЛ-1МЗ.1. Иономер позволяет измерять показатель pH в диапазоне от минус 20 до плюс 20 с точностью 0,001 pH.

Выполненный ранее в работе [232] анализ установления равновесных значений показателя pH в зависимости от массы навески и времени замачивания позволил снизить время замачивания с трех суток до 1–2 часов.

Настоящая методика определения показателя pH водной вытяжки цементного камня бетона обеспечивает получение результатов испытаний с точностью ± 1 %, что является достаточным, так как при отборе для анализа образцов в порошкообразном состоянии ошибка может достигать 3 % за счет вероятностного характера распределения карбонизированного цементного камня в смеси с песком.

Преимущество методики – в скорости проведения анализа при достаточной для практических целей точности.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ДЕФЕКТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ.....	4
1.1 Характерные дефекты элементов и конструкций строительных объектов при их изготовлении и возведении	5
1.1.1 Земляные работы	5
1.1.2 Фундаменты	6
1.1.3 Каменные работы.....	9
1.1.4 Железобетонные конструкции.....	14
1.1.5 Стеновые панели крупнопанельных зданий.....	19
1.1.6 Стыки и швы.....	23
1.1.7 Колонны.....	24
1.1.8 Балки (ригели).....	28
1.1.9 Фермы.....	32
1.1.10 Плиты перекрытий и покрытия.....	32
1.1.11 Монолитные железобетонные конструкции.....	34
1.1.12 Лестничные марши и площадки.....	36
1.1.13 Стальные конструкции.....	37
1.1.14 Деревянные конструкции.....	39
1.1.15 Полы.....	41
1.1.16 Перегородки.....	46
1.1.17 Кровли из рулонных материалов.....	47
1.1.18 Сварные конструкции.....	52
1.1.19 Соединения на болтах без контролируемого натяжения.....	53
1.1.20 Заклепочные соединения.....	54
2 ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ	55
2.1 Эксплуатационные повреждения от различных видов воздействий	56
2.1.1 Воздействие отрицательных температур на основания и конструкции зданий.....	56
2.1.2 Увлажнение конструкций.....	62
2.1.3 Воздействие грунтовой воды.....	69
3 КОРРОЗИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ.....	72
3.1 Каменные конструкции.....	75
3.1.1 Конструкции из силикатных материалов.....	78
3.1.2 Конструкции из минеральных материалов	79
3.1.3 Природные каменные материалы	80

3.2	Металлические конструкции.....	82
3.2.1	Показатели коррозии	85
3.2.2	Химическая коррозия	87
3.2.3	Электрохимическая коррозия	90
3.2.4	Коррозия основных конструкционных металлов и сплавов	94
3.2.5	Атмосферная коррозия	99
3.2.6	Подземная коррозия металлических конструкций	102
3.2.7	Коррозия, вызываемая блуждающими токами	107
3.2.8	Коррозия трубопроводов систем отопления и горячего водоснабжения	110
3.3	Железобетонные конструкции.....	112
3.3.1	Коррозия бетона	113
3.3.2	Коррозия стальной арматуры	124
3.4	Деревянные конструкции	134
3.4.1	Воздействие на древесину различных факторов внешней среды	136
3.5	Полимерные конструкции.....	137
3.5.1	Стойкость полимерных материалов к воздействию атмосферных факторов	141
3.5.2	Старение других полимерных материалов	146
3.6	Повреждения бетона при воздействии нефтепродуктов.....	147
4	БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ	150
4.1	Металлы и металлоконструкции	159
4.1.1	Биокоррозия под действием бактерий	159
4.1.2	Биокоррозия под действием микроскопических грибов	161
4.2	Минеральные материалы	162
4.3	Природные каменные материалы	168
4.4	Полимерные материалы	169
4.5	Лакокрасочные материалы	171
4.6	Ковровые материалы	171
4.7	Древесина	172
4.7.1	Дереворазрушающие грибы	173
4.7.2	Дереворазрушающие насекомые	184
5	ТРЕЩИНЫ В КОНСТРУКЦИЯХ	190
5.1	Трещины в железобетонных элементах.....	190
5.1.1	Механизмы разрушения структуры бетона.....	191
5.1.2	Основные причины появления трещин.....	192
5.1.3	Основные характерные трещины в железобетонных элементах.....	193
5.1.4	Трещины в балках с обычным армированием.....	195
5.1.5	Трещины в предварительно напряженных балках.....	196
5.1.6	Трещины в сжатых элементах.....	197
5.1.7	Трещины в стропильных фермах.....	199
5.1.8	Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий.....	201
5.2	Трещины в каменных (кирпичных) конструкциях.....	204

5.2.1 Основные причины появления трещин.....	204
5.2.2 Стадии трещинообразования каменных кладок при сжатии.....	205
5.2.3 Трещины в кирпичных внецентренно сжатых колоннах.....	206
5.2.4 Трещины в кирпичных стенах.....	207
6 ХАРАКТЕРНЫЕ ДЕФЕТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	213
7 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА	228
7.1 Оценка степеней значимости и распространения дефектов и по- вреждений	228
7.2 Категории технического состояния конструкций	229
7.3 Оценка технического состояния конструкций	230
7.4 Аварийно-опасное состояние	235
8 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА	237
8.1 Оценка и прогнозирование карбонизации бетона	242
8.2 Оценка и прогнозирование технического состояния ЖБЭ и ЖБК с учетом карбонизации бетона	245
8.3 Комплексный метод оценки и прогнозирования технического состо- яния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных воздушных средах, с учетом карбонизации бетона.....	248
9 ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА	250
9.1 Вероятностный подход к оценке остаточного ресурса зданий и со- оружений	251
9.2 Детерминированный подход к оценке остаточного ресурса зданий и сооружений	253
9.3 Методика расчета остаточного ресурса несущих конструкций	254
9.3.1 Основные предпосылки к расчетному подходу по оценке остаточного ресурса	255
9.3.2 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций ..	259
9.4 Методы экспертных оценок	265
10 ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА	274
10.1 Методы оценки физического износа	278
10.2 Оценка физического износа конструкций зданий и сооружений на основе логистических зависимостей	284
10.3 Экспертный метод оценки ФИ	292
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	306
ПРИЛОЖЕНИЕ А Экспресс-методы определения карбонатной со- ставляющей и показателя поровой жидкости водной вытяжки це- ментного камня в цементно-песчаной фракции бетона	313
А.1 Экспресс-метод определения карбонатной составляющей (показателя КС) в цементно-песчаной фракции бетона	313
А.2 Экспресс-метод определения показателя поровой жидкости водной вытяжки цементного камня (показателя pH) в цемент- но-песчаной фракции бетона	318

Учебное издание

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Учебное пособие

Редактор *А. А. Павлюченкова*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Компьютерный набор и верстка – *А. А. Васильев*

Подписано в печать 26.06.2023 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Arial. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 19,06. Уч.-изд. л. 21,07. Тираж 150 экз.
Зак. № 1337. Изд. № 32.

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