

СОДЕРЖАНИЕ

Диагностика технического состояния зданий и сооружений.....	3
Цели и задачи дисциплины.....	3
I. Понятие надежности объектов технической природы. Общие понятия и положения теории надежности.....	3
Дифференциация уровней надежности строительных конструкций.....	4
Факторы, влияющие на надежность зданий и сооружений. Понятие расчетной, фактической и эксплуатационной надежности	5
II. Обследование зданий и сооружений. Общие понятия. Основные этапы обследования	9
Предварительный осмотр (обследование).....	11
Общее обследование.....	12
Классификация дефектов и повреждений строительных конструкций.....	13
Категории технического состояния строительных конструкций.....	14
Детальное обследование.....	16
Определение положения конструкций, прочностных и деформативных характеристик материалов разрушающими и неразрушающими методами.....	17
Обмерные работы.....	17
Измерения.....	18
Отклонения от вертикали и искривления в вертикальной плоскости конструкций	20
Измерение вертикальных и горизонтальных деформаций (перемещений) строительных конструкций.....	21
Измерение раскрытия швов и стыков.....	24
Неразрушающие метода контроля прочности.....	25
Ударные методы.....	25
Метод отрыва.....	26
Метод упругого отскока.....	29
Метод скалывания ребра.....	31
Ультразвуковой метод.....	31
III. Диагностика технического состояния оснований и фундаментов.....	34
Виды деформации грунтовых оснований и смещения сооружений.....	35
IV. Диагностика технического состояния металлических конструкций	43
Характерные дефекты и повреждения соединений.....	49
Выявление коррозионного износа и повреждений антикоррозионного покрытия металлоконструкций.....	59
Оценка качества металла.....	63
Определение фактических нагрузок, действующих на металлические конструкции.....	65
Дефекты и повреждения металлических конструкций.....	65

Характерные повреждения отдельных видов металлических конструкций.....	68
V. Диагностика технического состояния железобетонных конструкций.....	70
Коррозия бетона.....	70
Коррозия арматуры.....	73
Дефекты и повреждения, возникающие от воздействия высоких температур.....	74
Характерные повреждения железобетонных конструкций.....	75
Трещины в сжатых элементах.....	75
Трещины в стропильных фермах.....	77
Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий.....	79
VI. Диагностика технического состояния каменных конструкций.....	81
Работа каменной кладки под нагрузкой.....	81
Дефекты и повреждения каменных конструкций.....	82
Наблюдения за трещинами.....	85
Оценки по несущей способности.....	87
VII. Диагностика технического состояния деревянных конструкций и частей зданий и сооружений.....	90
Физические свойства древесины.....	91
Влажность.....	92
Влияние пороков.....	93
Краткие сведения о гниении древесины.....	94
Энтомологические разрушители древесины и меры борьбы с ними.....	96
Общие положения обследования деревянных конструкций.....	97
Методика обследования деревянных частей зданий и сооружений.....	97
Повреждения деревянных частей зданий и сооружений.....	98
Оценка технического состояния деревянных частей зданий и сооружений.....	99
VIII. Теплотехнические обследования ограждающих конструкций	100
Определение влажностного состояния ограждающих конструкций	103
Определение воздухопроницаемости ограждающих конструкций.....	105
IX. Список цитированных источников.....	109

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «**Диагностика технического состояния зданий и сооружений**» является знакомство студентов со средствами и методами, предназначенными для качественной и количественной оценки показателей, характеризующих свойства и состояние строительных объектов; опытного изучения процессов, протекающих в них; выявления конструктивных и эксплуатационных свойств материалов, элементов и конструкций, зданий и сооружений в целом и установления их соответствия техническим требованиям.

Техническая диагностика – это отрасль научно-технических знаний, сущность которых составляют теория, методы и средства обнаружения, а также поиск дефектов и повреждений объектов технической природы.

Главной задачей диагностики технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений является определение их действительного технического состояния и прогнозирование возможности их дальнейшей эксплуатации, производимые на основании глубокого анализа количественных показателей качества (прочность, устойчивость, сопротивление теплопередаче, соответствие требованиям строительных норм) с учетом имеющихся изменений свойств материалов и технических параметров элементов, произошедшие в процессе эксплуатации.

В ходе определения технического состояния объектов технической природы, как правило, решаются три типа задач:

1. **диагностирование** – определение технического состояния, в котором находится объект в настоящий момент;
2. **прогнозирование** – предсказание технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент;
3. **генетика (генезис)** – определения технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом.

1. ПОНЯТИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Как отмечалось ранее, главной задачей проведения диагностики технического состояния является выявление действительного состояния объекта и прогнозирование возможности его дальнейшей эксплуатации, что напрямую связано с оценкой **надежности** рассматриваемого объекта.

Под **надежностью** понимается свойство системы выполнять заданные функции в конкретных условиях эксплуатации на рассматриваемом интервале времени. Применительно к строительным конструкциям надежность рассматривается как способность конструкции (здания/сооружения) к безотказной работе.

Показателями надежности называют количественные характеристики одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта:

1. **Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение определенного промежутка времени.
2. **Долговечность** – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта, т.е. с возможными перерывами в работе.
3. **Ремонтнопригодность** – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Под **отказом** понимается утрата техникой системой необходимого качества, т.е. событие, связанное с наступлением предельного состояния.

Предельное состояние – это временное или постоянное прекращение нормальной эксплуатации конструкции. Относительно строительных конструкций выделяют две группы предельных состояний:

- **предельные состояния первой группы** – состояния, связанные с потерей прочности, устойчивости и другими формами разрушения конструктивной системы или её отдельных элементов, создающие опасность для жизни и безопасности людей;
- **предельные состояния второй группы** – состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкции и связанные с ограничением:
 - чрезмерных деформаций и перемещений, неблагоприятно воздействующих на внешний вид конструкций, затрудняющих протекание технологических процессов, создающих повреждения отделки и других конструктивных (декоративных и вспомогательных) элементов;
 - недоступного трещинообразования в бетоне конструкций, неблагоприятно влияющих на её долговечность и внешний вид;
 - вибрационных воздействий, создающих дискомфорт для людей, повреждения зданий или их частей.

Расчеты по предельным состояниям первой группы определяют безопасность конструкций и включают:

- расчеты по прочности;
- расчеты по устойчивости формы и устойчивости положения (опрокидывание, скольжение, всплытие и т.д.);
- расчеты на выносливость при действии многократно повторяющейся нагрузки.

Расчет по предельным состояниям первой группы производят из условия, по которому усилия от расчетных воздействий (E_d) не превышают предельных усилий, которые может быть воспринять конструкция (R_d), т.е. $E_d \leq R_d$.

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

- расчеты по образованию, раскрытию и закрытию трещин (для железобетонных конструкций);
- расчеты по деформациям (прогибам, перемещениям).

При расчете по предельным состояниям второй группы проверяется условие, согласно которому значения расчетных эффектов, вызванных воздействиями (E_d) не должны превышать допустимых значений, установленных нормативными документами.

Дифференциация уровней надежности строительных конструкций

Требуемый уровень надежности строительных конструкций согласно ТКП/ОР 45-5.03-...200 (02250) «Общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций и оснований» назначается с учетом следующих факторов [1]:

- **причин и формы (характера) разрушения.** Конструкции и конструктивные элементы предельное состояние и форма разрушения, которых характеризуется хрупким внезапным разрушением (отказом) без предварительных признаков, следует проектировать с большим уровнем надежности, чем те конструкции, у которых разрушению предшествуют характерные признаки, позволяющие своевременно принять меры для ограничения возможных последствий разрушения;

- **возможных последствий разрушения**, оцениваемых угрозой для жизни людей, потенциальным экономическим ущербом и социальными затратами;
- **затрат**, направленных на осуществление специальных организационных мероприятий, необходимых для снижения рисков потенциального разрушения;
- **социальных условий и условий защиты окружающей среды** в конкретном месте расположения.

Дифференциацию требуемых уровней надежности следует осуществлять при помощи классификации конструкций в целом или отдельных конструктивных элементов, рассматривая комбинации следующих последствий разрушения:

- низкий риск для жизни людей, малые или незначительные экономические, социальные или экологические последствия;
- средний риск для жизни людей, значительные экономические, социальные или экологические последствия;
- высокий риск для жизни людей, очень большие экономические, социальные или экологические последствия.

Таблица I.1 – Условная классификация расчетных сроков службы зданий и сооружений [1]

Класс	Условный расчетный срок службы, лет	Примеры объектов
1	до 10	Временные конструкции зданий и сооружений (бытовки строительных рабочих и вахтенного персонала, временные склады, летние павильоны им т.д.)
2	не менее 25	Заменяемые конструктивные элементы и детали (например, подкрановые балки, опоры), сооружения, эксплуатируемые в условиях сильноагрессивных сред (сосуды и резервуары, трубопроводы предприятий нефтехимической и газовой промышленности и т.д.)
3	50	Здания и сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и промышленного строительства)
4	100 или более	Монументальные и уникальные здания и сооружения (здания основных музеев, хранилищ национальных и культурных ценностей, произведения монументального искусства, стадионы, театры, здания высотой более 70 м, большепролетные сооружения, крупные мосты), крупные мосты

Факторы, влияющие на надежность зданий и сооружений. Понятие расчетной, фактической и эксплуатационной надежности [1]

Надежность строительной системы при их проектировании, возведении и эксплуатации обеспечивается учетом следующих факторов:

1. **Нормативных положений** (требований государственных стандартов на строительные материалы и изделия и конструкции, а также нормативные документов по проектированию, строительству и эксплуатации).

Нормативные документы по проектированию и строительству и государственные стандарты устанавливают оптимальные требования к проектированию и возведению зданий и сооружений, к качеству строительных материалов, конструкций и изделий. Эти нормативные документы и государственные стандарты на основе результатов научных исследований, передового опыта проектирования и строительства систематически совершенствуются и обновляются. Строгое соблюдение требований нормативных документов и государственных стандартов обеспечивают (гарантируют) необходимую надежность и долговечность зданий и их эксплуатационные качества.

2. **Факторов конструктивного характера** включающих в себя:

а). выбор рационального конструктивного решения:

- выбор проектных решений, отвечающих современным требованиям, технологическим процессам изготовления и возведения, а также условиям эксплуатации;
- достоверность и полнота инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий;
- рациональные решения сопряжений и соединения элементов системы (узлов, стыков) с учетом условий возведения и монтажа системы;

б). выбор адекватной расчетной модели, т.е. правильный выбор основных расчетных схем и предпосылок расчета в наибольшей мере соответствующих действительной работе системы в процессе возведения и эксплуатации (учет при проектировании природно-климатических, силовых и других воздействий, возникающих в процессе возведения и эксплуатации системы; учет при проектировании и возведении поперечной и продольной жесткости и устойчивости системы).

в). выбор метода определения расчетных усилий – определение усилий и деформаций в конструкциях следует производить методами строительной механики, как правило, с учетом их совместной работы, физической и геометрической нелинейности.

г). выбор вида материала и его характеристик – выбор материалов с соответствующими прочностными характеристиками в зависимости от их назначения и значимости, от района строительства, заданного срока службы системы и условий эксплуатации;

Проектировании строительных конструкций должно производиться таким образом, чтобы за все время их службы сопротивление R было с очень высокой вероятностью больше нагрузки S , т.е. [2]:

$$Z = R - S \geq 0; \quad (I.1)$$

Разность $R - S$ называется расстоянием безопасности, или зоной безопасности, или резервом прочности Z . В состоянии безотказной работы эта величина положительна. Выполнение неравенства (I.1) было бы тривиальным, если бы проектировщику не приходилось одновременно удовлетворять требованиям высокой экономичности и снижения материалоемкости конструкций. Почти всегда назначением

больших размеров поперечных сечений можно достичь большей несущей способности и, следовательно, большего резерва прочности. И, наоборот, снижением резерва прочности можно достичь экономии материала. Стремление экономить принуждает конструктора снижать резерв прочности.

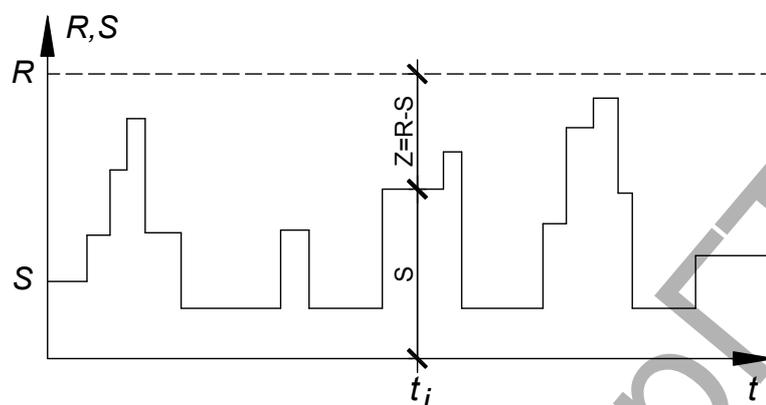


Рисунок I.1 – Изменение во времени воздействий S и сопротивления R в некотором поперечном сечении (отказ не происходит) [2]

Кроме того, решение неравенства (1.1) дополнительно усложняется тем, что ни R , ни S точно не известны, поскольку обе величины появятся только в будущем. Проектировщик не знает ни реальных нагрузок, которые будут действовать на конструкцию в период эксплуатации, ни действительных свойств материалов, из которых она будет изготовлена. Это означает, что в процессе проектирования проектировщику приходится идти на определенный риск, т.е. принимать решения в условиях неопределенности. В процессе проектирования строительных конструкций конструктором делаются предположения об ожидаемых нагрузках, и методами строительной механики, сопротивления материалов, теории упругости, теории пластичности и т.п. определяются значения и распределения внутренних усилий в теоретической модели проектируемой конструкции. Затем производится сопоставление значений внутренних усилий со свойствами предполагаемых материалов и на этой основе принимаются ориентировочные решения. В связи с этим проектирование (расчет) строительных конструкций имеет характер прогноза, так как между теоретической (идеализированной) моделью и будущей (реальной) конструкцией в период срока её службы, естественно, не может быть точного соответствия. Снижение (минимизация) отклонения между теоретическим представлением (моделью) и будущей конструкцией в нормативной практике учитывается элементами безопасности – нормативными значениями и коэффициентами запаса или частными коэффициентами надежности [2].

3. Соблюдений условий изготовления конструкций и изделий, обеспечивающих:

- а). соблюдение технология изготовления конструкций;
- б). выбор достоверных методик и правил контроля качества продукции;
- в). установления оптимальных величин допусков к изготовлению элементов и отклонению от них.

4. Соблюдений условий производства строительно-монтажных работ

Нарушение правил монтажа здания; отсутствие соответствующего контроля материалов и комплектности изделий; нарушения сортности и некачественной замены материалов; установки элементов, подвергающихся длительному хранению в неблагоприятных условиях; недостаточный контроль на отдельных

операциях и при выпуске готовой продукции; при нарушении самой технологии монтажа конструкций отрицательно сказываются на надежности конструкции и здания в целом.

5. **Условий эксплуатации**

В процессе эксплуатации на надежность оказывают влияние следующие параметры:

- несоответствие внутренних напряжений в элементах конструкций своим проектным значениям;
- несоответствие эксплуатационных воздействий проектным;
- ненадлежащее выполнение (не выполнение) систематического и предупредительного технического обслуживания конструкции;
- низкая техническая квалификация обслуживающего и ремонтного персонала.

В процессе проектирования и конструирования конструкций закладывается их **расчетная надежность**. При изготовлении обеспечивается **фактическая надежность** конкретного элемента, зависящая от качества материалов, отдельных деталей, сборки и монтажа конструкций. **Эксплуатационная надежность** рассматриваемой конструкции равна произведению её фактической надежности на человеческий фактор (надежность применения). Последнее понятие включает в себя все рассмотренные выше факторы применения и в той или иной степени снижает надежность изделия. Анализ случаев отказов в строительстве показывает, что большинство из них происходит за счет ошибочных действий или/и невыполнения необходимых действий участвующих в строительстве людей. Основными источниками ошибок выступают:

1. недостаточный уровень знаний;
2. халатность, попустительство и безответственность отдельных личностей, участвующих в процессе реализации проектных решений.

Следует отметить, что ошибки человека не возможно учесть введением специального резерва прочности при проведении расчетов и нормативные документы не предусматривают учет ошибок человека по средствам частных коэффициентов безопасности. Снижение опасности неправильных человеческих действий может быть достигнуто:

1. обучением, переобучением и повышением квалификации персонала;
2. наблюдением и контролем за выполнением работ на отдельных этапах работ;
3. воспитанием высокой рабочей морали.

Из вышесказанного следует надежность любого элемента в той или иной мере может уменьшаться по мере воплощения идеи в реальный объект. Для минимизации разницы между расчетной и эксплуатационной надежностью строительных конструкций различают несколько стратегических направлений, которые разворачиваются во времени одно за другим [2]:

1. Создание достаточного резерва между нагрузкой и сопротивлением ему конструкцией (см. (1.1));
2. Минимизация человеческого фактора;
3. Ограничение размера ущерба.

Идея последней стратегии основана на том, что невозможно полностью избежать случаев отказа строительных конструкций, поэтому их проектирование необходимо производить таким образом, чтобы при возникновении отказа максимально снизить неблагоприятные последствия и, прежде всего, избежать смертельных случаев. Реализовывать это можно следующими способами:

- выбор при проектировании таких статических систем, в которых выход из строя одного элемента не ведет к внезапному и полному отказу всей системы;
- исключить при проектировании вероятность внезапного хрупкого разрушения конструкции (использовать такие материалы, которые обладают способностью к большим деформациям);
- обеспечить возможность однозначного прогнозирования отказа конструкции (даже неспециалистом) при появлении характерных признаков (повреждений) (образование и чрезмерное раскрытие трещин, большие деформации и т.д.), проведение эвакуации людей из опасной зоны и ограничение эксплуатационных нагрузок;
- обеспечить возможность ремонта (усиления) или замены поврежденных элементов (конструкций).

II. ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ [3]

Обследование (техническая диагностика) – комплекс работ по сбору, обработке, систематизации и анализу данных о техническом состоянии здания, его отдельных элементов, оценке их технического состояния и степени износа.

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

- **определении пригодности здания к дальнейшей эксплуатации;**
- **определении износа:**

Износ – процесс ухудшения показателей эксплуатационных качеств здания, его отдельных элементов во времени с учетом изменяющихся требований к ним.

Моральный износ – несоответствие основных параметров здания, определяющих условия проживания или производства, объем и качество предоставляемых услуг (свойств) современным требованиям.

Физический износ – ухудшение технических и связанных с ними других показателей эксплуатационных качеств здания, его отдельных элементов на определенный момент времени.

- **паспортизации:**

Паспортизация – метод учёта, позволяющий установить технический уровень, состояние, рабочие и общие параметры и определить перспективы модернизации, ремонта и рациональную область использования строительных объектов в процессе эксплуатации.

- **решении вопросов утилизации:**

Утилизация (англ. Utilization) – виды работ по обеспечению ресурсосбережения, при которых осуществляются переработка и/или вторичное использование отслуживших установленный срок и/или отбракованных изделий, материалов и т.п..

- **проектировании ремонта, реконструкции, модернизации, реставрации:**

Ремонт (зданий, сооружений) – совокупность работ и мероприятий по восстановлению работоспособности или исправности здания, сооружения, их элементов и частей, включая строительные конструкции и инженерное

оборудование, утраченных в процессе эксплуатации, не подпадающих под определение реконструкции.

Реконструкция (зданий сооружений) – совокупность работ и мероприятий, направленных на улучшение функционирования или использование по новому назначению здания, сооружения, вызывающих изменение строительного объема или общей площади здания, сооружения, либо мощности (вместимости, пропускной способности) или назначения (включая отдельные помещения) с изменением нормативных требований.

Модернизация — усовершенствование, улучшение, обновление объекта, приведение его в соответствие с новыми требованиями и нормами, техническими условиями, показателями качества.

Реставрация – совокупность работ и мероприятий по воссозданию нарушенного первоначального облика памятников искусства и архитектуры, включая здания, сооружения и их комплексы, выполняемых на основе специальных исследований их исторической достоверности и архитектурно-художественной ценности.

– **возобновлении строительства законсервированных объектов:**

Консервация строительства – приостановка строительства, которая предполагает возобновление строительных работ или ликвидацию объекта в будущем.

– **изменении значений эксплуатационных нагрузок и воздействий;**

– **изменении условий эксплуатации.**

При обследовании выявляют:

- дефекты, вызванные принятыми проектными решениями;
- дефекты изготовления или возведения;
- повреждения в результате физического износа;
- повреждения от агрессивных воздействий среды;
- повреждения от нарушения правил эксплуатации;
- повреждения, полученные при стихийном бедствии.

Повреждение — дефект, образовавшийся в результате воздействий (климатических, механических, химических и других).

Дефект — каждое отдельное несоответствие здания, его отдельных элементов требованиям проектной и нормативной документации.

Деформация — изменение размеров, формы и конфигурации тела в результате действия внешних или внутренних сил.

Основанием для проведения технического обследования служит **Задание на техническое обследование**, в котором должны быть отражены следующие моменты:

- мотивы проведения обследования;
- краткие данные об объекте обследования;
- тип обследуемых конструкций;
- и др.

Таблица II.1 – Этапы обследования [3]

Категория сложности работ	Вид работ	Состав работ
1	Предварительный осмотр	Осмотр здания, определение объемов работ, поиск имеющейся проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, условий доступа к обследуемым элементам здания.
2	Общее обследование	Предварительный осмотр. Изучение особенностей близлежащих участков территории, вертикальной планировки, состояния благоустройства участка, организации отвода поверхностных вод. Выявление вблизи здания опасных геологических явлений, оценка расположения здания в застройке. Изучение фактических планировочных и конструктивных решений, анализ их соответствия проектной документации. Осмотр и фотографирование конструкции, составление дефектных ведомостей по результатам осмотра и простейших измерений. Определение места выработок, вскрытий, зондирования конструкций для последующего детального обследования элементов здания.
3	Детальное обследование	Предварительный осмотр. Общее обследование. Детальные обмеры конструкций и узлов их сопряжений, геодезическая съемка, измерение параметров трещин, прогибов, наклон элементов, определение армирования и оценка степени коррозионного износа. Определение фактических характеристик материалов конструкций неразрушающими методами или путем проведения испытаний отобранных из них образцов. Уточнение исходных данных, необходимых для выполнения расчетов конструкций. Окончательная схематизация и классификация дефектов. Испытание элементов здания нагружением (при необходимости).

Предварительный осмотр (обследование) [3]

Предварительный осмотр (обследование) здания выполняется до составления технического задания на проведение обследования для предварительного определения объемов и сроков выполнения работ, объема имеющейся проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, условий доступа к обследуемым элементам здания.

Изучение проектно-технической документации производится в целях определения:

- периода строительства;
- времени проведения ремонтных работ;
- изменения условий эксплуатации, конструктивного решения здания или сооружения;
- расчетных величин нагрузок и воздействий;
- размещения оборудования;
- инженерно-геологических условий строительства;

Кроме проектной документации должны быть изучены:

- акты на скрытые работы;
- акты передачи в эксплуатацию;
- паспорта-сертификаты на материалы и сборные элементы;
- журналы производства работ;
- технический паспорт на объект;
- документы о проведенных ремонтах, реконструкции и др.

В период предварительного обследования должны быть установлены отступления от проектных данных по объемно-планировочным и конструктивным решениям, по виду и характеру нагрузок.

Общее обследование [3]

При общем обследовании должны выполняться следующие работы:

- изучение планировочных и конструктивных решений, анализ их соответствия проектной документации;
- осмотр и фотографирование конструкции;
- составление дефектных ведомостей по результатам осмотра и простейших измерений элементов;
- определение места выработок, вскрытий, зондирования конструкций для последующего детального обследования элементов здания;
- изучение особенностей близлежащих участков территории, вертикальной планировки, состояния благоустройства участка, организации отвода поверхностных вод;
- выявление вблизи здания опасных геологических явлений;
- оценка расположения здания в застройке.

При отсутствии проектной документации в полном объеме или несоответствия здания проектной документации, должны выполняться обмерочные чертежи, включающие:

- поэтажные планы здания или его отдельных участков, подлежащих обследованию;
- поперечные и продольные разрезы;
- схемы расположения элементов здания;
- эскизы обследуемых конструкций и узловых соединений (виды, развертки, сечения).

При общем обследовании должен проводиться сплошной визуальный осмотр обследуемых элементов здания и фиксирование всех явных дефектов.

Если в ходе сплошного контроля, после проверки 25% общего числа однотипных конструкций, дефекты не выявлены, допускается переход на выборочный контроль с определением объема выборки от числа оставшихся конструкций в соответствии с таблицей II.2.

Таблица II.2 – Объем выборки при проведении выборочного контроля в ходе общего обследования [3]

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

По результатам общего обследования дается ориентировочная оценка технического состояния строительных конструкций. При незначительных дефектах и повреждениях и соответствующей (высокой) квалификации производящих обследование специалистов на основе результатов общего обследования может быть сделана окончательная оценка технического состояния строительных конструкций.

На основании результатов, полученных на этапе общего обследования необходимо:

- выполнить общую оценку технического состояния, износа конструкций и инженерных систем здания, их пригодности к эксплуатации с разработкой в необходимых случаях указаний (рекомендаций) по ремонту;
- решить вопрос о проведении детального обследования и наметить участки его выполнения.

Классификация дефектов и повреждений строительных конструкций [3]

Оценку технического состояния строительных конструкций или инженерных систем, а также эксплуатационных качеств здания выполняют по отдельным группам показателей эксплуатационных качеств.

При оценке технического состояния дефекты строительных конструкций классифицируются на:

1. явные и скрытые;
2. устранимые (устранение технически возможно и экономически целесообразно) и неустранимые (устранение технически невозможно или экономически нецелесообразно);

При оценке несущих свойств конструкций дефекты подразделяются на две группы:

- а) дефекты, которые характеризуют показатели качества, имеющие нормируемые численные значения;

б) дефекты, связанные с нарушением технологии производства работ или повреждения, не имеющие нормируемых численных значений.

Для дефектов группы а) класс дефекта определяется по величине превышения или занижения (в небезопасную сторону) фактического значения контролируемого параметра X_i по сравнению с его предельным (максимальным или минимальным) значением по формуле [3]:

$$\Delta = \frac{X_i - X_{\min(\max)}}{X_{\min(\max)}}, \quad (II.1)$$

где $X_{\min(\max)}$ — предельные значения, определяемые в соответствии с проектной документацией и ТНПА или по ГОСТ 21778.

При этом дефекты подразделяются на:

- | | | |
|--------------------|-----------------------|--|
| — критические | — $\Delta > 40 \%$ | — использование конструкций по назначению невозможно или недопустимо; |
| — значительные | — $\Delta \leq 40 \%$ | — наличие дефектов значительно влияет на использование конструкции по назначению и(или) на её долговечность; |
| — малозначительные | — $\Delta \leq 10 \%$ | — наличие существенно влияет на использование конструкции по назначению и её долговечность. |

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

При определении технического состояния конструкций следует учитывать степень её ответственности. Различают две степени ответственности элемента или его части, в которых обнаружен дефект, за его работоспособность:

- К **первой степени ответственности** относят элементы или их составные части (для сложных элементов), локальный отказ которых может привести к полному или ограниченному отказу системы элементов, к значительному снижению показателей эксплуатационных качеств конструкций или помещений, к существенному ухудшению основных технико-экономических показателей;
- Ко **второй степени ответственности** относят элементы или их составные части, не относящиеся к первой степени.

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

- единичные дефекты, занимающие до 10 % площади, линейного размера или количества;
- многочисленные — св. 10 % до 40 %;
- массовые — св. 40 %.

Категории технического состояния строительных конструкций [3]

Согласно [3] выделяют следующие категории технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений:

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

II — неисправное (удовлетворительное) состояние — дефекты устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта;

III — ограниченно работоспособное (неполне удовлетворительное) состояние — опасность обрушения отсутствует. Необходимо соблюдение всех эксплуатационных требований. Возможны ограничения некоторых параметров эксплуатации. Требуется ремонт;

IV — неработоспособное (неудовлетворительное) состояние — необходимо срочное ограничение нагрузок. Требуется капитальный ремонт, усиление или замена элементов или конструкций (уточняется расчетом);

V — предельное (предаварийное) состояние — требуется вывод людей из опасной зоны, срочная разгрузка конструкций и (или) устройство временных креплений с последующей разборкой и заменой конструкций.

В зависимости от класса дефектов, степени их распространения, а также от назначенной степени ответственности участка (элемента конструкции или системы), в котором обнаружены данные дефекты, определяют категорию его технического состояния в соответствии с таблицей II.3.

Для отнесения конструкции к конкретной категории технического состояния необходимо наличие сочетания параметров дефектов в любом из элементов (участков) конструкции определенной степени ответственности.

Таблица II.3 — Определение категории технического состояния [3]

Степень распространения дефектов	Категория технического состояния конструкций при различных классах дефектов		
	Критические (1 класс)	Значительные (2 класс)	Малозначительные (3 класс)
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	$\frac{IV, V}{III, IV}$	$\frac{III}{II}$	$\frac{II}{I}$

Примечание — В числителе приведены категории для элементов первой степени ответственности, в знаменателе — второй степени ответственности.

В зависимости от категории технического состояния конструкций принимается решение о необходимой степени детализации последующих этапов обследования или о возможных мерах по восстановлению эксплуатационных качеств конструкций.

Перечень соответствующих мероприятий по восстановлению эксплуатационных качеств конструкций при необходимости уточняется детальным обследованием конструкций и расчетами на действующие или предполагаемые нагрузки. Методы учета дефектов конструкций в расчетах, особенности определения характеристик материалов и нагрузок при обследовании конструкций приведены в соответствующих ТНПА.

Усредненная оценка категории технического состояния K_{cp} генеральной совокупности конструкций каждого вида по результатам общего обследования производится по формуле [3]:

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

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

Детальное обследование [3]

Детальное обследование должно проводиться в следующих случаях:

- при паспортизации, если отсутствуют необходимые данные о допустимых нагрузках на элементы здания;
- при увеличении нагрузки на элементы здания и (или) изменении условий их эксплуатации;
- при отсутствии проектной и исполнительной документации с необходимыми данными о допустимых нагрузках на элементы здания;
- при усилиях от предполагаемых (расчетных) нагрузок, превышающих расчетную несущую способность, определенную по проектным данным;
- при выявлении элементов или их отдельных участков III категории технического состояния.

Детальное обследование должно включать:

- подробные обмеры конструкций и узлов их сопряжений, геодезическую съемку, измерение параметров трещин, прогибов, наклонов элементов, определение армирования и оценку степени коррозионного износа;
- определение фактических характеристик материалов конструкций неразрушающими методами или путем проведения испытаний отобранных образцов;
- уточнение исходных данных, необходимых для выполнения расчетов конструкций;
- окончательную схематизацию и классификацию дефектов;
- испытание элементов здания нагружением (при необходимости);
- разработку указаний (рекомендаций) по ремонту конструкций и (или) инженерных систем по их дальнейшей безопасной эксплуатации;
- разработку технических решений по усилению элементов здания.

Детальное обследование должно проводиться инструментальным способом. Из общего количества подлежащих обследованию конструкций в каждой зоне здания формируют выборку для проведения детального обследования. Минимальное количество включаемых в выборку конструкций зависит от усредненной категории технического состояния конструкций, определенной по результатам общего обследования по формуле (II.2) и принимается в соответствии с таблицей II.4. При этом в выборку включают конструкции, имеющие визуальную различную степень повреждения.

Таблица II.4 – Объем выборки при проведении детального обследования [3]

Категория технического состояния	Минимальное количество обследуемых конструкций из одной генеральной совокупности	
	%	шт., не менее
I	7	2
II	15	4
III	20	6

Данные таблицы II.4 относятся к производствам со среднеагрессивной средой. Для производств со слабоагрессивной (неагрессивной) и сильноагрессивной средой количество обследуемых конструкций рассматриваемой зоны соответственно уменьшается или увеличивается на 30 %, а при обнаружении конструкций IV и V категорий технического состояния — увеличивается на 30 % и 40 % соответственно. При отсутствии проектной и исполнительной документации и (или) при предполагаемом увеличении нагрузок, а также если в процессе обследования выявлено, что параметры уже обследованных однотипных конструкций существенно различаются между собой, данные таблицы II.4 увеличиваются еще на 50 %.

При выявлении в процессе обследования здания конструкций, относящихся к IV категории технического состояния (III категории — для зданий I уровня ответственности), следует организовать мониторинг технического состояния здания, включающий систематическое наблюдение за состоянием здания по программе, учитывающей специфику и конкретную ситуацию на объекте.

На основе анализа характера изменения во времени основных параметров напряженно-деформированного состояния конструкций и узлов должен быть сделан прогноз развития выявленных негативных явлений и процессов и, при необходимости, разработаны мероприятия по их оперативному устранению.

Мониторинг технического состояния конструкций следует выполнять также для объектов, находящихся в зоне сложных инженерно-геологических условий и природно-техногенных воздействий, для уникальных зданий и сооружений, а также в других случаях, регламентированных действующими ТНПА.

Определение положения конструкций, прочностных и деформативных характеристик материалов разрушающими и неразрушающими методами [3]

Процесс обследования строительных конструкций включает работы, имеющие общую методику проведения, характерные практически для всех видов конструкций. К ним относятся следующие виды работ:

- обмерные;
- измерения деформаций конструкций;
- методы и средства наблюдений за трещинами.

Обмерные работы [3]

Состав и количество обмерных работ устанавливаются на этапе предварительного обследования и зависят от задач обследования, наличия проектной документации, проведенных ранее реконструкций здания и отдельных конструкций и т.п.

Обмерами определяются конфигурация, размеры, положение в плане и по вертикали конструкций и их элементов. Должны быть проверены основные размеры конструктивной схемы здания: длины пролетов, высоты колонн, сечения конструкций, узлы опирания балок и другие геометрические параметры, от величины которых зависит напряженно-деформированное состояние элементов конструкций.

При проведении обмерных работ положение основных линий, углов и отметок, от которых производится измерение, должно определяться геодезической съемкой с применением теодолита, нивелира и других средств измерения.

Для обмеров отдельных конструкции и их элементов используются рулетки, деревянные складные рейки с нанесенными на них делениями, наборы металлических линеек и угольников разной длины, штангенциркули, уровня, отвесы и т.д.

Обмерные чертежи выполняются в масштабе 1:100, чертежи фрагментов и узлов - в масштабе от 1:50 до 1:5. В процессе натурных обследований результаты обмеров наносятся на предварительно подготовленные копии рабочих чертежей проекта здания или на эскизы для последующего изготовления обмерных чертежей. Размеры и высотные отметки конструкций проставляются на обмерных чертежах в соответствии с правилами оформления архитектурно-строительных рабочих чертежей.

Измерения

Деформации и прогибы в конструкциях возникают вследствие перегрузок, неравномерной осадки фундаментов, пучения грунтов оснований, температурных воздействий при изменении уровня грунтовых вод и влажностного режима грунтов оснований, потерь устойчивости несущих конструкций и других внешних воздействий. Нередко характер развития деформаций конструкций может свидетельствовать о причинах их обуславливающих. Допустимые пределы деформаций и прогибов зависят от материала и вида конструкций и регламентируются нормами проектирования конструкций зданий.

ИЗМЕРЕНИЕ – процесс нахождения значений какой-либо физической величины с помощью технических средств и сравнение его с эталоном.

МЕТРОЛОГИЯ – наука об измерениях, методах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Различают три класса измерений:

- **особо точные** – измерения, устанавливающие эталонные значения;
- **высокоточные** – измерения, применяющиеся для градуирования измерительных приборов и при особо ответственных исследованиях;
- **технические** – измерения, применяющиеся в практике испытания и обследования строительных конструкций.

Результаты измерений всегда содержат некоторую погрешность. Поэтому в задачу измерения входит не только нахождение искомым величин, но и оценка погрешности, точности и достоверности измерений.

Погрешность измерения – это разность между истинными и измеренными значениями величин.

Точность измерения – это степень приближения результата измерения к истинному значению.

Достоверность измерения – это вероятность отклонения результата измерения от истинного значения.

Погрешности измерений можно разделить на три группы:

- **систематические** – это погрешности, которые остаются постоянными или изменяются по определенному закону при многократном повторении одних и тех же измерений.
 - Инструментальные погрешности, определяемые классом точности измерительных приборов, зависящие от их установки, градуировки шкалы, люфтов, сил трения, износа, старения или неисправности средств измерения;
 - Погрешности, возникающие вследствие непостоянства свойств внешней среды (температуры, давления, влажности, магнитных и электрических

полей, вибраций, колебаний), неоднородности и анизотропии материалов вследствие дефектов поверхности, наличия трещин, пор, раковин и т.п.);

- Погрешности метода измерений, зависящие от принятой методики и недостаточно обоснованных теоретических допущений;
- Погрешности субъективного характера, связанные с несовершенством органов чувств, квалификацией и индивидуальными особенностями человека.

Причины, вызывающие систематические погрешности, известны и могут быть уменьшены или исключены за счет применения более чувствительных приборов, введения поправочных коэффициентов, учета влияния внешних и внутренних факторов, улучшения методик измерения.

- **случайные** – вызываются стохастическими факторами, действие которых при каждом измерении различно и заранее не может быть учтено.

Для уменьшения влияния случайных погрешностей увеличивают число измерений, дублируются показания приборов, устанавливают статистические закономерности погрешностей и тенденции их распределения.

- **грубые ошибки (промахи)** – источником является невнимательность при проведении наблюдений (измерений) и ведении технической документации (неверные записи, неверность снятия отсчетов из-за плохого освещения, нечеткости шкалы, отказ прибора, внезапное изменение условий эксперимента). Предварительная обработка результатов измерений и применение вероятностного анализа позволяют определить и исключить допущенные промахи.

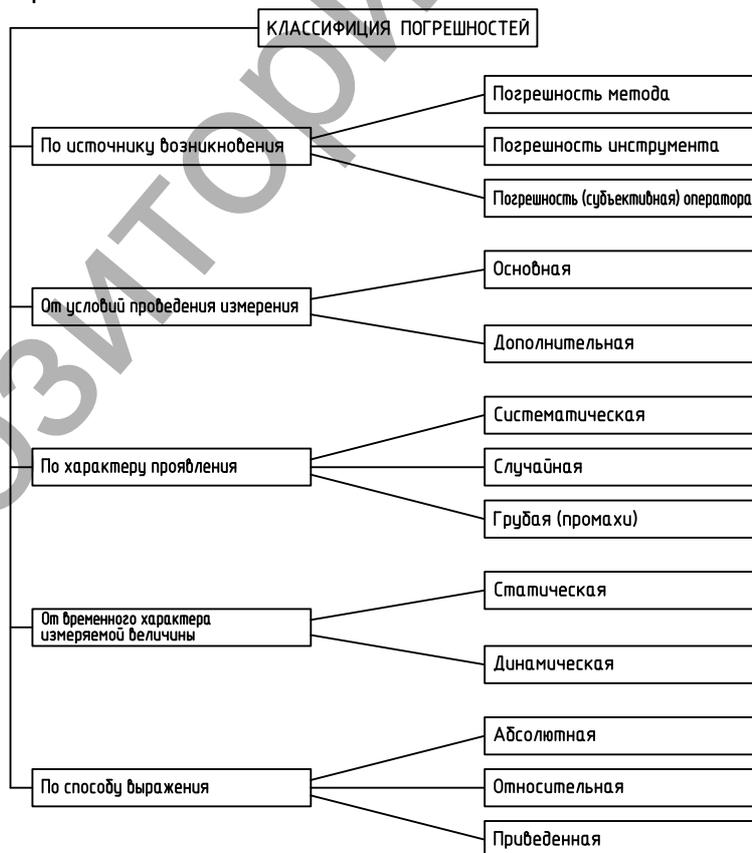


Рисунок II.1 – Классификация погрешностей [5]

Основная погрешность – погрешность, возникающая в нормальных условиях применения средства измерения (температура, влажность, напряжение питания и др.), которые нормируются и указываются в стандартах или технических условиях.

Дополнительная погрешность обуславливается отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормального значения. Например, изменение температуры окружающей среды, изменение влажности, колебания напряжения питающей сети. Значение дополнительной погрешности нормируется и указывается в технической документации на средства измерения.

Статическая погрешность – погрешность при измерении постоянной по времени величины.

Динамическая погрешность – погрешность измерения изменяющейся во времени величины.

Абсолютная погрешность измерения Δ – разность между результатом измерения X и истинным значением X_o измеряемой величины:

$$\Delta = X - X_o$$

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения δ – отношение абсолютной погрешности измерения Δ к истинному значению измеряемой величины X_o :

$$\delta = \frac{\Delta}{X_o} = \frac{X - X_o}{X_o} \cdot 100\%$$

Приведённая погрешность – погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Вычисляется по формуле:

$$\delta_x = \frac{\Delta}{X_n}$$

где X_n – нормирующее значение, которое зависит от типа шкалы измерительного прибора и определяется по его градуировке:

- если шкала прибора односторонняя, то есть нижний предел измерений равен нулю, то X_n определяется равным верхнему пределу измерений;
- если шкала прибора двухсторонняя, то нормирующее значение равно ширине диапазона измерений прибора.

Приведённая погрешность является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах.

Отклонения от вертикали и искривления в вертикальной плоскости конструкций [4]

Отклонения от вертикали и искривления в вертикальной плоскости конструкций могут быть измерены с помощью отвеса и линейки (рисунок II.2), а также с помощью теодолита.

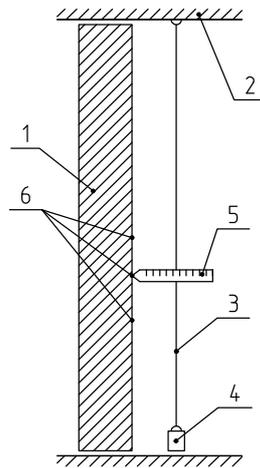
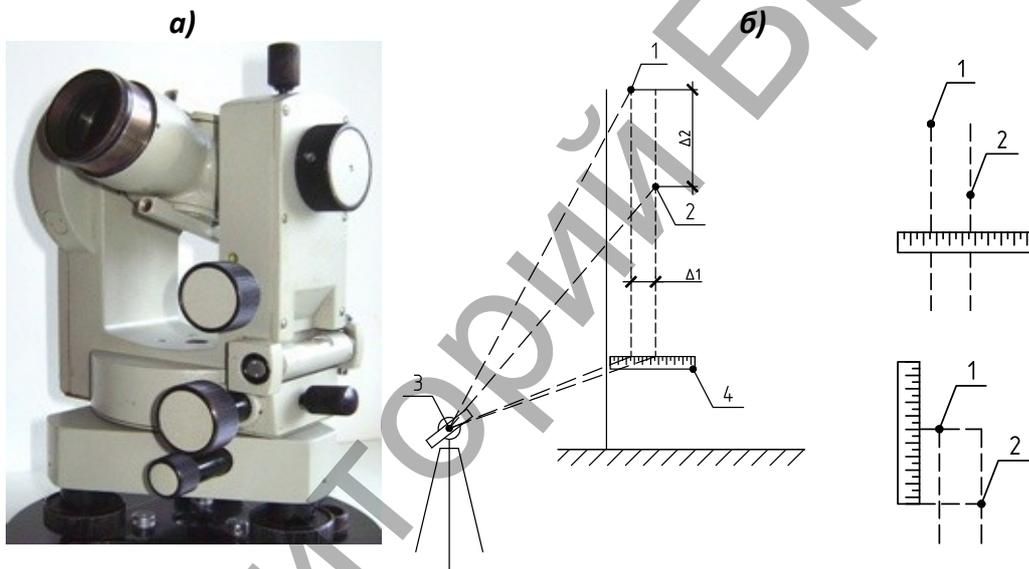


Рисунок II.2 – Измерение отклонений от вертикали конструкций с помощью отвеса [4,6]

1 - стена, перегородка или колонна; 2 - перекрытие; 3 - нить; 4 – отвес;
5 - измерительная линейка; 6 - точка измерения



1,2 - точки; 3 – теодолит; 4 - переносная линейка

Рисунок II.3 - Измерение горизонтального и вертикального смещения двух точек с помощью теодолита [4,6]

а) – теодолит; б) – схема измерения перемещений

Измерение вертикальных и горизонтальных деформаций (перемещений) строительных конструкций

Величины прогибов, искривлений конструкций и их элементов может быть выполнен путем натяжения тонкой проволоки между краями конструкции или ее частями, не имеющими деформации, и измерения максимального расстояния между проволокой и поверхностью конструкции с помощью стальной линейки (рисунок II.4). Измерения выполняются с миллиметровыми делениями.

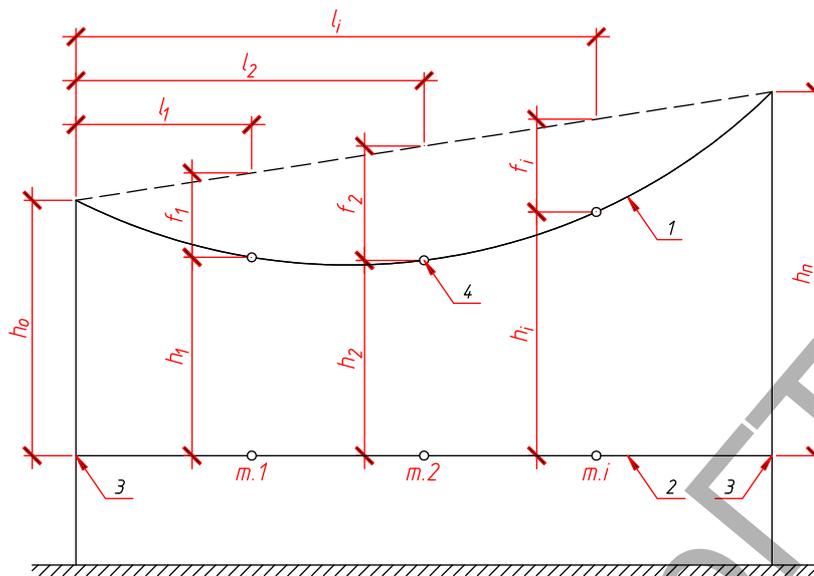


Рисунок II.4 – Схема определения прогиба перекрытия с помощью горизонтальной нити [6]:

1 – перекрытие; 2 – горизонтальная нить; 3 – точка закрепления нити; 4 – точка измерения.

Величина прогиба (выгиба) конструкции в точке i вычисляется по формуле:

$$f_i = (h_0 - h_1) + \frac{h_n - h_0}{l} \cdot l_i, \quad (II.3)$$

где h_0, h_n - расстояние (ордината) от нити до начальной (о) и конечной (h) точки;

h_i, l_i - ордината и расстояние от начала координат (о) до точки i ;

l - длина конструкций.

Величины прогибов могут быть определены также с помощью гидростатического уровня. Определение прогибов данным методом основана на принципе сообщающихся сосудов и величина вертикальных деформаций (перемещений) определяется по градуированной трубке 1 относительно неподвижного сосуда 3 (см. рисунок II.5).

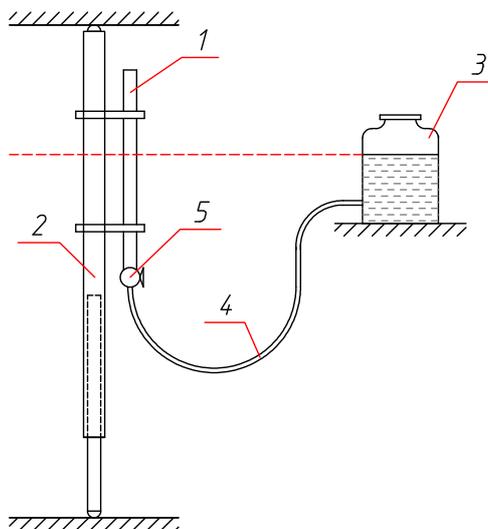


Рисунок II.5 - Схема измерения прогибов гидростатическим уровнем [6]

1 - градуированная трубка; 2- телескопическая стойка; 3- сосуд; 4- резиновый шланг; 5 - краник; 6 - точка измерения

Прогибомеры предназначены для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений испытываемых элементов. В практике строительства в основном используют прогибомеры следующих двух типов: Максимова с ценой деления 0,1 мм (рисунок III.6,б) и Аистова с ценой деления 0,01 мм (рисунок III.6,а).

Допускается использовать любые другие приборы, обеспечивающие возможность замера перемещений с точностью 0,1 мм и менее. Прогибомеры, используемые для измерения перемещений испытываемых элементов, должны быть протарированы согласно паспортным данным. Для прогибомеров следует использовать стальную проволоку диаметром 0,2-0,3 мм, которая перед началом измерений должна быть подвергнута предварительному растяжению в течение двух дней грузом в 4 кгс. При замерах перемещений испытываемых элементов рекомендуется пользоваться грузом 1-1,5 кгс.

Прогибомеры следует крепить к реперной системе с помощью специальных струбцин. Для измерения перемещений рекомендуется использовать минимум два прогибомера, устанавливаемых симметрично относительно испытываемого элемента. Величина перемещения элемента должна определяться как среднее арифметическое значение результатов показаний всех приборов в измеряемом уровне. Показания закрепленных к реперной системе прогибомеров перед началом измерений, рекомендуется установить на нулевые отсчеты (путем поворота барабана прогибомеров). Реперная система с закрепленными прогибомерами должна быть изолирована от случайных толчков в процессе проведения испытаний, а ее конструкция – исключать возможность искажающего влияния температурных деформаций системы и деформаций грунтов на результаты замеров.

В целях уменьшения влияния изменений температуры воздуха, трения в конструкции прогибомера, давления ветра и других факторов на результаты измерения перемещений рекомендуется:

- длину проволоки, от прогибомера до места ее крепления к испытываемому элементу принимать не более одного метра;
- обращать особое внимание на обеспечение надежного закрепления проволоки к испытываемому элементу;
- проволоку, закрепленную за испытываемый элемент, следует навить на барабан, сделав на нем не менее 1,5 оборота.

Для измерения небольших по величине перемещений применяют индикаторы часового типа, которые устанавливают на неподвижной опоре с упором подвижного стержня в испытываемую конструкцию или закрепляют на испытываемой конструкции с упором подвижного стержня в неподвижную точку. Поэтому индикаторы называют ещё контактными прогибомерами. Индикаторы характеризуются ценой деления и пределом измерения. Для выполнения лабораторных работ применяют индикаторы с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 10мм.

Индикатор часового типа (рисунок II.7) состоит из цилиндрического корпуса, внутри которого размещается система шестерёнок. На лицевой стороне прибора под стеклом располагается кольцевая шкала и большая стрелка для показания отсчёта. Для отсчёта целых оборотов большой стрелки индикатора предусматривается вторая малая шкала со стрелкой. Через корпус проходит измерительный шток, на котором нарезана зубчатая рейка, соединённая с зубчатой шестерёнкой трубкой.

а)

б)



Прогибомер	тип 6ПАО	тип ПМ
Предел измерения, мм	Не ограничен	0 - 100
Цена деления, мм	0,01	0,1
Допускаемая погрешность показаний в пределах 1мм на любом диапазоне шкалы, мм:		
на прямом ходе	±0,03	
на обратном ходе	±0,05	
Габаритные размеры, мм	86x104x37	120x90x5, 170x25x85

Рисунок II.6 – Прогибомеры [5]:

а) – прогибомер Аистова (тип 6ПАО); **б)** – прогибомер Максимова (тип ПИ).

В корпусе индикатора размещён часовой механизм, преобразующий вертикальное движение штока прибора во вращательное движение указательных стрелок. Смещению штока на 1 мм отвечает один полный оборот большой стрелки или перемещение на одно деление малой стрелки.

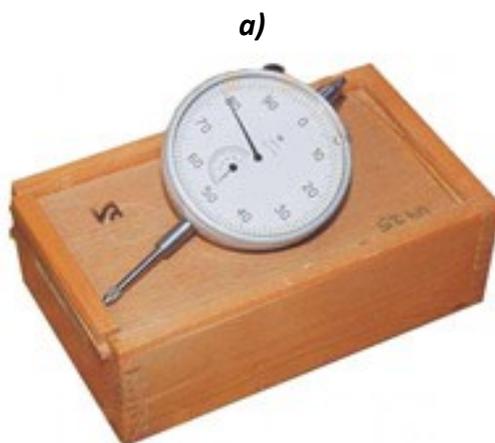
Обработка показаний прогибомеров и индикаторов заключается в определении перемещения точки по формуле:

$$\Delta l = (N_2 - N_1)mk, \quad (II.4)$$

где m – цена деления шкалы прибора;

N_1 и N_2 – отсчеты по шкале прибора;

k – поправочный коэффициент, принимаемый по паспорту прибора.



б)

в)

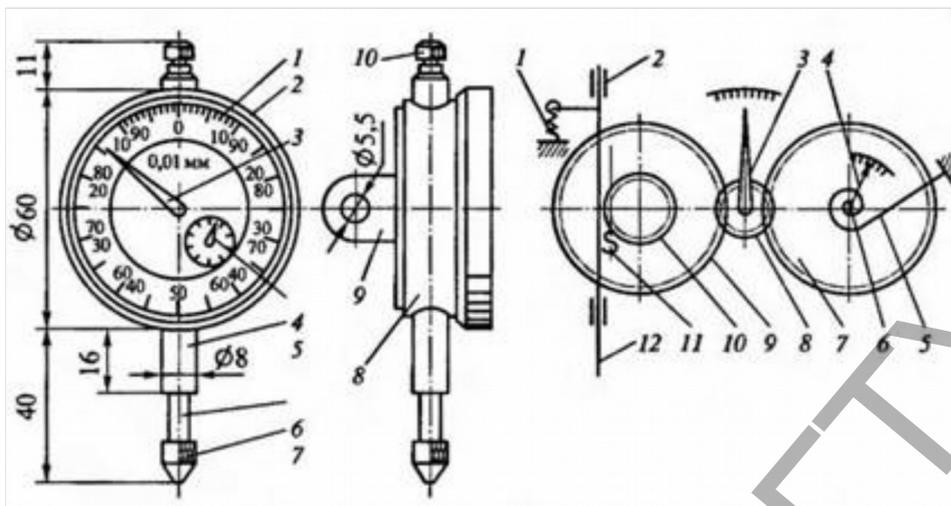


Рисунок II.7 – Индикатор часового типа [5]:

а) – общий вид; б) – принципиальная схема:

1 – измерительная шкала; 2 – кольцо для установки шкалы на ноль; 3 – стрелка-указатель; 4 – стрелка отсчета числа оборотов; 5 – гильза; 6 – стержень; 7 – наконечник; 8 – корпус; 9 – крепежное ушко; 10 – головка отвода измерительного стержня.

в) – кинематическая схема:

1 – пружина; 2 – гильза; 3 – стрелка-указатель; 4 – стрелка контроля числа оборотов; 5 – пружина; 6 – ось; 7-10 – зубчатые колеса; 11 – зубчатая рейка; 12 – наконечник.

Измерение раскрытия швов и стыков

Деформации швов и стыков конструкций (раскрытие, сдвиг) измеряются с помощью переносных индикаторов (мессур) с ценой деления 0,01 мм или штангенциркулем. Измерение производится между двумя стальными штырями диаметром 4-5 мм с центрирующим устройством на концах, заделанных в тело конструкций по обе стороны шва (стыка). Для непрерывной записи деформаций на ленту в течение суток и более используются механические (с часовым механизмом) и электронные самописцы. Схемы установки для автоматической записи раскрытия (а) и сдвига (б) вертикального шва панели показаны на рисунке II.8.

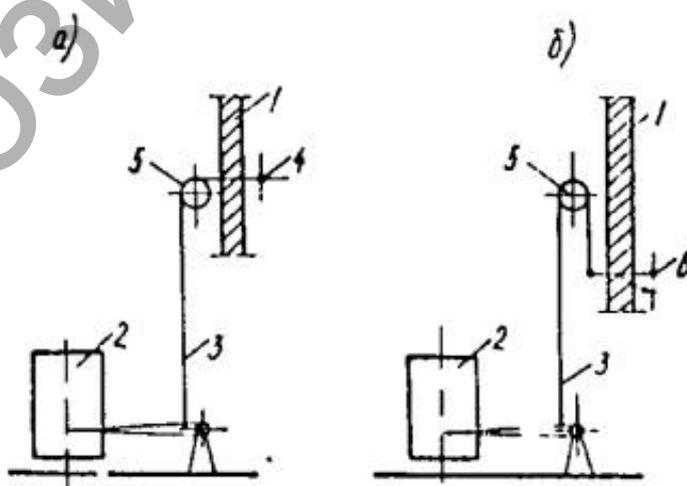


Рисунок II.8 – Измерение раскрытия (а) и сдвига (б) по шву сборных элементов с помощью самописцев [5]

1 - шов; 2 - самописец; 3 - стальная нить 0,3 мм; 4 - штырь (болтик); 5 - блок; 8 - кронштейн

Неразрушающие метода контроля прочности

Ударные методы

Ударные методы основаны на гипотезе о связи между твердостью материала и его прочностью. Простейшим из них является определение прочности молотком И.А. Физделя. Суть способа заключается в следующем – при локтевом ударе (в момент нанесения удара локоть руки прижат к поверхности испытываемой конструкции) молотка по поверхности конструкции остаются отпечатки (лунки), по среднему диаметру которых в соответствии с тарировочным графиком определяется прочность материала (бетона, раствора, естественных камней и т.д.). Точность способа невелика, так как сила удара не регламентируется.

Большую точность дают ударные способы (и соответствующие приборы), позволяющие сравнивать размеры лунок на поверхности конструкции и эталонном образце, образованных при одном ударе. При ударе эталонным молотком К.П. Кашкарова (см. рисунок II.10) получается два отпечатка – на эталоне и конструкции. Отношение диаметров полученных отпечатков зависит от твердости бетона и твердости металла эталонного стержня и практически не зависит от скорости, направления и силы удара, наносимого молотком.

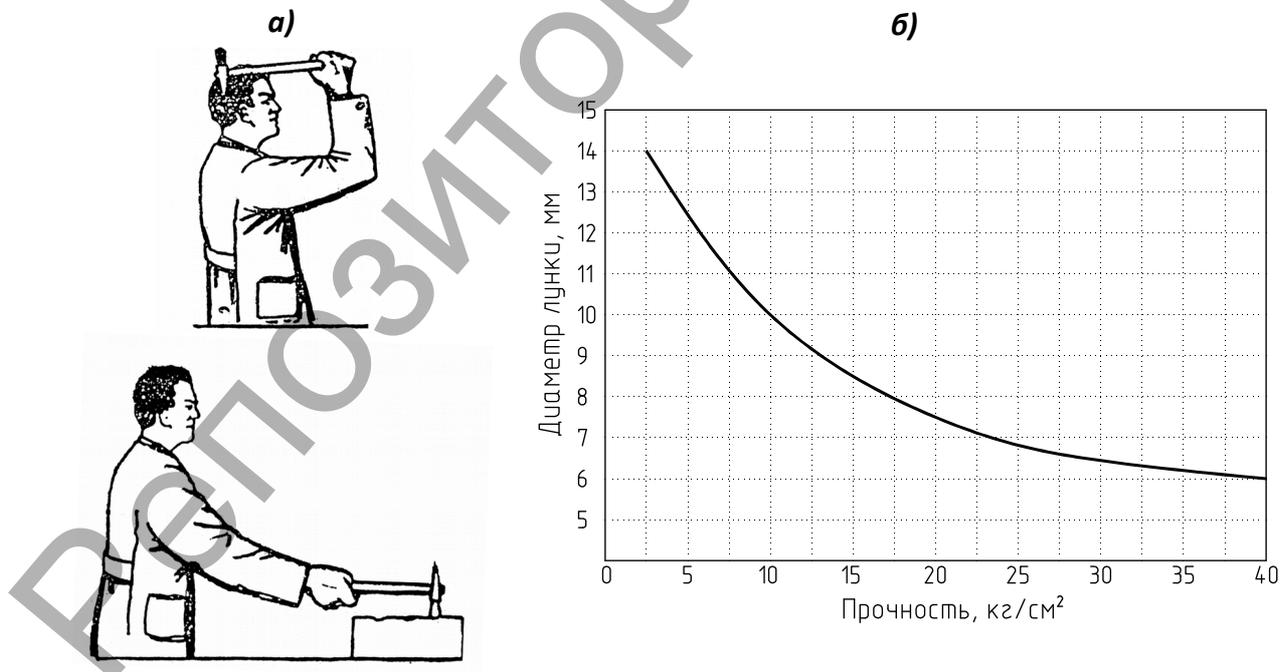


Рисунок II.9 – Определение прочности молотком И.А. Физделя [4]

а) – нанесение удара; б) – тарировочная кривая.

а)

б)

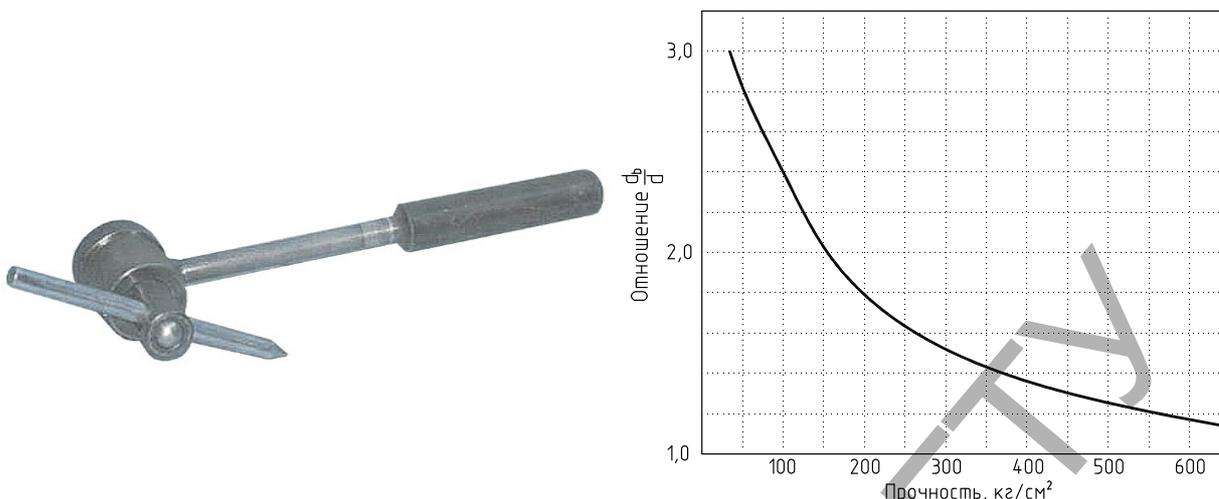


Рисунок II.10 – Определение прочности молотком К.П. Кашкарова [7]

а) – Молоток К.П. Кашкарова для определения прочности; **б)** – Тарировочная кривая для определения прочности методов К.П. Кашкарова

Метод отрыва

Метод отрыва (вырыва) основан на гипотезе о связи между прочностью материала и силами сцепления в нем. Сущность метода заключается в оценке прочностных свойств материала по величине усилия, которое необходимо приложить, чтобы вырвать закрепленный в конструкции специальный стержень при заданной глубине заделки. При испытаниях методом отрыва участки испытаний должны располагаться:

- в зоне наименьших напряжений, вызванных эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно преднапряженной арматуры;
- таким образом, чтобы в зону вырыва не попала арматура;
- таким образом, чтобы на участке испытания толщина конструкции должна быть более чем в два раза превышала толщину испытываемой конструкции;
- таким образом, чтобы расстояние от анкерного устройства до грани конструкции должна быть не менее 150мм, а от соседнего анкерного устройства – 250мм;

Для испытаний методом отрыва используется прибор ПИБ в соответствии с ГОСТ 22690 [8] (см.рисунок II.11). ПИБ предназначен для определения прочности лёгких бетонов в диапазоне 5-40 МПа и тяжёлых бетонов прочностью 10-100 МПа. При проведении испытания на поверхности испытываемой конструкции выбирают ровный участок и пробивают отверстие глубиной 55 мм. В отверстие вставляют саморасклинивающийся анкер. Затем, вращая рукоятку поршневого насоса производят вырыв анкера. В момент разрушения бетона визуально считывают максимальное значение по манометру.

а)

б)



Рисунок II.11 – Прибор ПИБ [4, 7]
а) – общий вид; б) – порядок испытаний.

При проведении испытаний используются анкерные устройства трех типов (см. рисунок II.12).

Прочность материала по результатам испытаний определяется по следующей зависимости [4]:

$$R = m_1 \cdot m_2 \cdot P, \quad (\text{II.5})$$

где m_1 – коэффициент, учитывающий размер крупного заполнителя в зоне испытаний, принимаемый равным 1,0 - при крупности до 50мм, 1,1 – при крупности заполнителя более 50мм;

m_2 – коэффициент пропорциональности для перехода от усилия вырыва (кН) к прочности бетона (МПа), принимаемый по таблице II.5.

Таблица II.5 – К определению коэффициента m_2 [4]

Условия твердения бетона	Тип анкерного устройства	Предполагаемая прочность бетона, МПа	Глубина заделки анкерного устройства, мм	Значение коэффициента m_2 для бетона	
				тяжелого	легкого
Естественные	I	≤ 50	48	1,1	1,2
		> 50	35	2,4	–
	II	≤ 50	48	0,9	1,0
		> 50	30	2,5	–
	III	≤ 50	35	1,5	–
	Тепловая обработка	I	≤ 50	48	1,3
> 50			35	2,6	–
II		≤ 50	48	1,1	1,0
		> 50	30	2,7	–
III		≤ 50	35	1,8	–

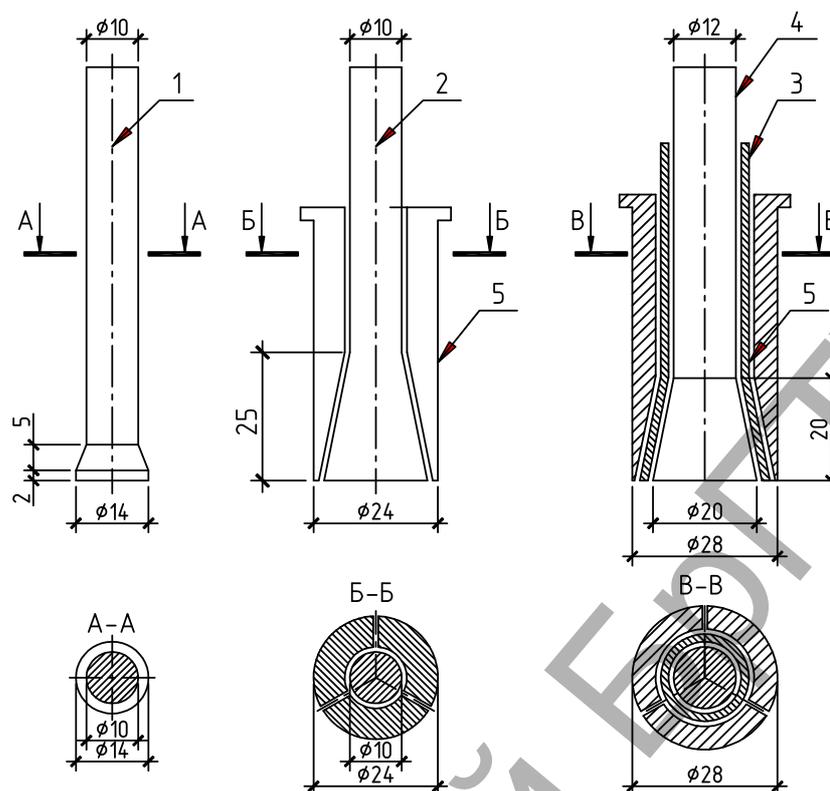


Рисунок II.12 – Типы анкерных устройств используемых при определении прочности методом отрыва [7]

1– рабочий стержень; 2 – рабочий стержень с разжимным конусом; 3 – рабочий стержень с полным разжимным конусом; 4 – опорный стержень; 5 – сегментные рифленые щетки

Метод отрыва с дисками производится с использованием прибора **ПОС 30-МГ4** (рисунок II.13). Данный прибор предназначен для контроля прочности бетона монолитных и сборных железобетонных изделий и конструкций. Область применения прибора - контроль прочности бетона в диапазоне 5-100 МПа на объектах строительства, а также при обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений. Принцип действия основан на измерении усилия местного разрушения бетона при отрыве анкерного устройства, приклеенного на поверхность исследуемой конструкции. При испытании методом отрыва с дисками участки испытаний должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызванных эксплуатационной нагрузкой и усилием обжатия предварительно напряженной арматурой.

Испытания проводят в следующей последовательности:

- в месте приклейки диска снимают поверхностный слой бетона на глубину 0,5-1,0мм и поверхность очищают от пыли;
- диски приклеивают к бетону так, чтобы слой клея на поверхности бетона не выходил за пределы диска;
- прибор соединяют с диском;
- нагрузку плавно увеличивают со скоростью $(1 \pm 0,3) \text{кН/с}$;
- фиксируют показатели силоизмерителя прибора;
- измеряют площадь проекции поверхности отрыва на плоскости диска с погрешностью $\pm 0,5 \text{см}^2$;
- по эмпирической зависимости определяют значение условного напряжения в бетоне при отрыве;

Результаты испытаний не учитываются, если при отрыве бетона была обнажена арматура или площадь проекции поверхности отрыва бетона составила менее 80% площади диска.



Рисунок II.13 – Прибор ПОС 30-МГ4 и анкерные диски для определения прочности методом отрыва [7]

Метод упругого отскока

Метод основан на гипотезе о связи энергией удара бойка о поверхность бетона и высоты его отскока от неё с прочностью бетона на сжатие. Для оценки прочности бетона на сжатие указанным способом используется склерометр ОМШ-1 (рисунок II.14). Диапазон измеряемой прочности бетона 5-40 МПа. Прибор представляет собой цилиндрический корпус со шкалой, в которой размещен ударный механизм с пружиной и стрелка-индикатор. Испытания проводят путем нажатия приставленного к бетону склерометра и после удара бойка и величине его отскока зафиксированного стрелкой-индикатором по графику определяют прочность бетона (раствора). Прибор имеет небольшую массу, простой в применении, но определяет только поверхностную прочность бетона.

Для этих же целей можно применить электронные склерометры ИПС-МГ4 и ОНИКС-2.51 (рисунок II.16), которые позволяют осуществить контроль прочности бетона, железобетонных изделий и конструкций методом ударного импульса. Приборы позволяют также оценить физико-механические свойства материалов в образцах и изделиях: прочность, твёрдость, упруго-пластические свойства; выявить неоднородности, зоны плохого уплотнения, наличия расслоения. Принцип действия приборов основаны на измерении параметра акустического импульса, возникающего на выходе склерометра при соударении бойка о поверхность контролируемого материала

Рисунок II.14 – Склерометр ОМШ-1 [7]

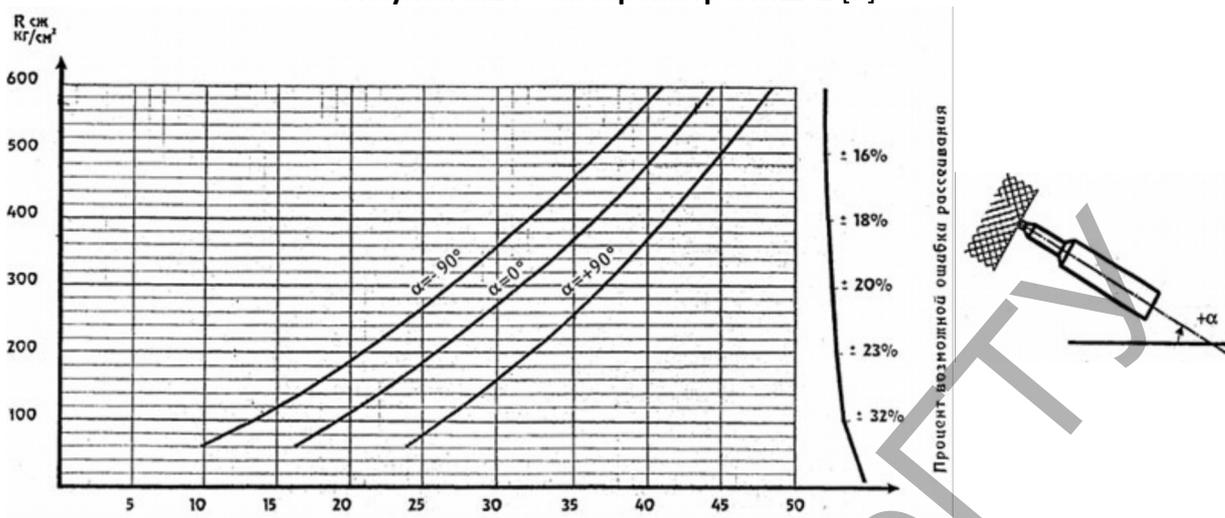


Рисунок II.15 – График градуировочной зависимости между прочностью бетона (кг/см²) от величины отскока по шкале склерометра [7]

а)

б)



Рисунок II.16 – Электронные склерометры [7]:

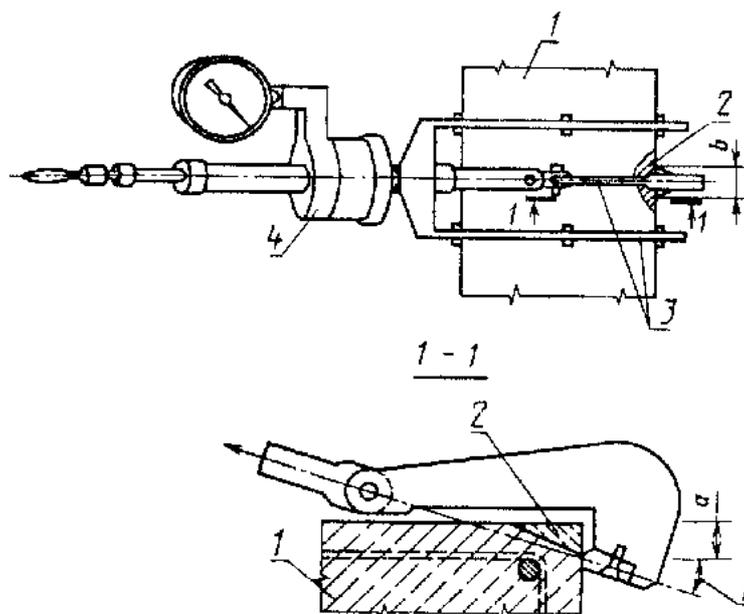
а) - ИПС-МГ4; б) - ОНИКС-2.51

Метод скалывания ребра

Прочность материала определяется по усилию, необходимому для скалывания грани испытываемой конструкции. Испытания производят в следующей последовательности:

- испытательный прибор закрепляют на грани конструкции (см. рисунок II.17);
- на конструкцию прикладывают нагрузку со скоростью не более $(1 \pm 0,3)$ кН/с;
- фиксируют показания силоизмерителя прибора;
- измеряют фактическую глубину скалывания;
- по результатам серии испытаний определяют среднее значение усилия скалывания.

Результаты испытаний не учитываются, если при скалывании бетона была обнажена арматура или фактическая глубина скалывания отличалась от заданной более чем на 2,0 мм.



Контролируемые параметры:

$a = 20 \pm 2$ мм;

$b = 20 \pm 2$ мм;

$\beta = (18 \pm 1)^\circ$.

Рисунок II.17 – Принципиальная схема испытания методом скалывания ребра [5, 7]

1 – испытуемая конструкция; 2 – скалываемый бетон; 3 – устройство УРС; 4 – прибор ГПНС – 4.

Прочность бетона испытываемой конструкции определяется по следующей эмпирической зависимости:

$$R = 0,058m(P^2 + 3P) \quad (II.6)$$

m – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя и принимаемый равным:

- 1 при крупности заполнителя менее 20 мм;
- 1,05 при крупности заполнителя от 20 до 30 мм;
- 1,1 при крупности заполнителя от 30 до 40 мм;

P – усилие скалывания, кН.

Ультразвуковой метод

Метод основан на связи между скоростью распространения ультразвуковых колебаний в бетоне и его прочностью. Прочность бетона в конструкциях определяют по установленным градуировочным зависимостям «скорость распространения ультразвука – прочность бетона» или «время распространения ультразвука – прочность» в зависимости от способа прозвучивания.

Ультразвуковые измерения производят способами сквозного или поверхностного прозвучивания. Сборные линейные конструкции (балки, ригели, колонны и др.) испытывают, как правило, способом сквозного прозвучивания в поперечном направлении. Изделия, конструктивные особенности которых затрудняют осуществление сквозного прозвучивания, а также плоские конструкции (плоские, ребристые и многопустотные плиты, стеновые панели) испытывают способом поверхностного прозвучивания.

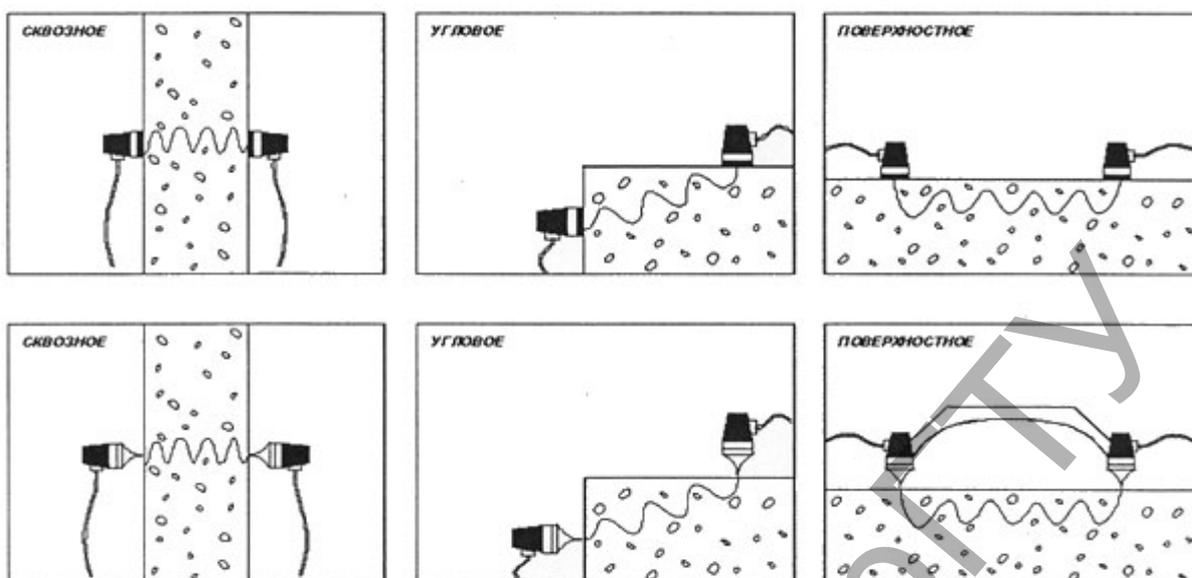


Рисунок II.18 – Способы ультразвуковых прозвучиваний [7]

Между бетоном и рабочими поверхностями ультразвуковых преобразователей должен быть обеспечен надежный акустический контакт, для чего применяются вязкие контактные материалы (солидол, технический вазелин). Градуировочная зависимость «скорость – прочность» устанавливается при испытании способом сквозного прозвучивания, зависимость «время – прочность» - при испытании способом поверхностного прозвучивания.

Измерение времени (скорость) распространения ультразвука в бетоне конструкции следует производить в направлении, перпендикулярном уплотнению бетона, а также в перпендикулярно расположению рабочей арматуры. Расстояние от края конструкции до места установки ультразвукового преобразователя должно составлять не менее 30 мм.

Ультразвуковые приборы (рисунок II.19) предназначен для определения прочности бетона, сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций; контроля качества огнеупорных бетонных изделий; определения прочности на сжатие кирпича и камней силикатных; обнаружения дефектов, нарушения структуры в изделиях и материалах. Приборы реализуют ультразвуковой импульсный метод с отдельным вводом и последующим приёмом УЗУ, прошедших через контролируемый материал. Для повышения достоверности измерений в каждом измерительном цикле приборами автоматически выполняется 6 измерений и результаты формируются путем их статистической обработки с отбраковкой выбросов.

а)

б)



Рисунок II. 19 – Приборы, используемые при ультразвуковом методе контроля прочности сборного и монолитного бетона [7]:

а) – ультразвуковой прибор УИС-23; б) – ультразвуковой прибор ПУЛЬСАР-1.2

Скорость распространения ультразвуковых волн в материале зависит от его плотности, упругости, от наличия внутренних дефектов (трещин, пустот), определяющих прочность и качество исследуемого материала, поэтому прозвучивая элементы изделий, конструкций и сооружений можно кроме прочностных характеристик получить также следующие сведения :

- прочность и однородность материала;
- модуль упругости и плотности материала;
- наличие дефектов и их локализации.

III. ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

Надежность и долговечность зданий в значительной степени зависит от состояния их фундаментов и надежности оснований. Особенно это важно при реконструкции зданий и сооружений, когда производится надстройка дополнительных этажей, увеличении нагрузок на перекрытия. При строительстве вновь возводимых зданий рядом с существующими (при уплотнении жилой застройки), последние претерпевают дополнительные, а иногда и недопустимые деформации.

Осадкой основания (или осадкой фундамента) называют вертикальное перемещение поверхности грунта под подошвой фундамента, связанное с передачей на основание нагрузки от сооружения. Различают осадку основания **равномерную** и **неравномерную**. При **равномерной** осадке перемещения точек поверхности грунта под всей площадью фундамента одинаковы, а при **неравномерной** — неодинаковы. Равномерная осадка основания, как правило, не является опасной; неравномерная же осадка часто становится причиной нарушения условий нормальной эксплуатации сооружений, а иногда и их аварий.

Для уплотнения грунта под нагрузкой требуется определенное время, в течение которого наблюдается рост осадки основания. Осадку, соответствующую окончательному уплотнению грунта, называют **полной, конечной** или **стабилизированной**.

Просадки – деформации, носящие провальный характер и вызываемые коренным изменением сложения грунта (уплотнением мелкопористого грунта при его замачивании, уплотнение рыхлых грунтов вследствие сотрясения, оттаивания мерзлых грунтов, выпирания грунта из-под сооружения и т.д.).

Деформации основания характеризуются:

- абсолютной (полной) осадкой отдельных точек фундамента, определяемой измерениями. Абсолютная или полная осадка S каждой отдельной точки сооружения вычисляется как разность отметок начального H_0 и текущего H_i циклов измерений, определенных относительно отметки исходной точки, принимаемой за неподвижную:

$$S = H_0 - H_i; \quad (III.1)$$

- средней осадкой здания или сооружения S_{cp} , определяемой вычислением по данным фактических осадок не менее чем трех отдельных фундаментов, расположенных в пределах здания или сооружения (вычисляется только при мало изменяемой сжимаемости основания):

$$S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}, \quad (III.2)$$

где n – кол-во точек.

Одновременно со средней осадкой для полноты общей характеристики указывают наибольшую S_{max} и наименьшую S_{min} осадки точек сооружения.

- разности осадок ΔS двух точек i и j или двух (m -го и n -го) циклов наблюдений вычисляются соответственно по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta S_{ij} &= S_i - S_j; \\ \Delta S_{m-n} &= S_m - S_n; \end{aligned} \quad (III.3)$$

- послойная деформация ΔS_z грунтов основания или толщи тела сооружения мощностью z определяется как разность осадок точек, закрепленных в кровле и подошве слоя грунта сооружения:

$$\Delta S_{zкр} = S_{под} - S_{кр} ; \quad (III.4)$$

Виды деформации грунтовых оснований и смещения сооружений

В зависимости от характера развития неравномерных осадок основания и жесткости сооружения различают следующие формы деформаций сооружений (рисунок III.1):

- **крен** – поворот относительно горизонтальной оси. Крен возникает при неравномерной загрузке основания или при наличии в основании несимметричного напластования грунтов. Крен всего сооружения с фундаментами в виде сплошных железобетонных плит определяется как разность осадок его противоположных сторон, отнесенная к расстоянию между ними:

$$i = \frac{s_2 - s_1}{L} ; \quad (III.5)$$

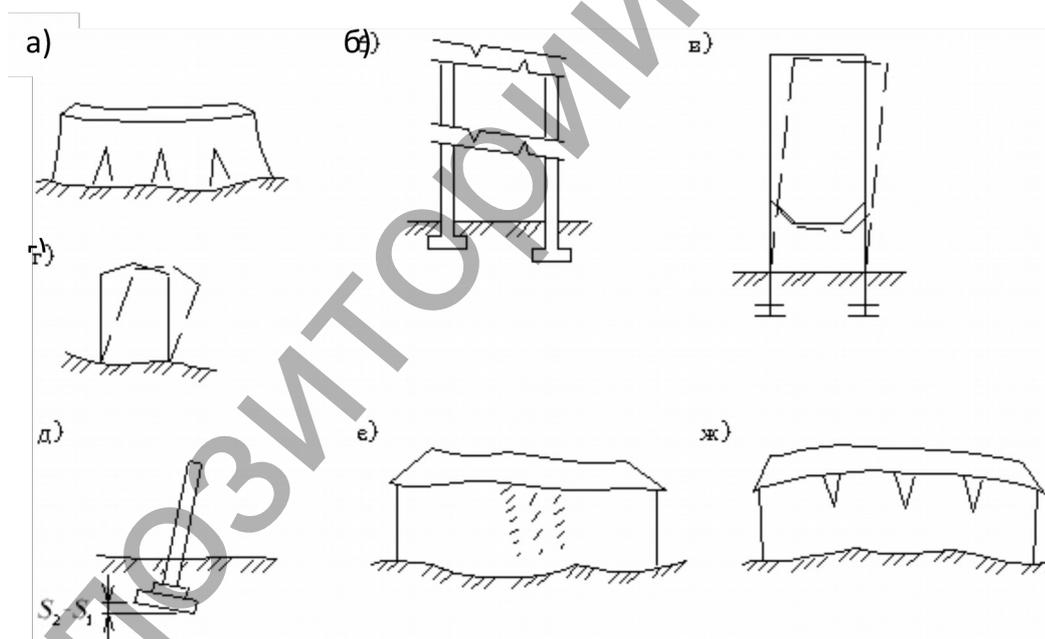


Рисунок III.1 – Проявление различных видов деформаций:

а) – прогиб; б) – перегиб; в), г), д) – крен; е) – прогиб и выгиб; ж) – выгиб.

- **прогиб** и **выгиб** вызваны искривлением сооружения по его длине. При прогибе наибольшие разрушения происходят в нижней части сооружения, а при выгибе – в верхней.

Относительный прогиб (или перегиб) фундамента, представляющим частное от деления величины стрелы прогиба на длину изогнувшейся части здания или сооружения. Симметричный относительный прогиб f отдельных частей сооружения вычисляется по формуле:

$$f = \frac{2S_K - (S_i + S_j)}{2L} ; \quad (III.6)$$

где S_i и S_j – осадки точек i и j , фиксированных на краях прямолинейного участка сооружения длиной L ;

S_K – осадка точки K , расположенной в середине между точками i и j .
Направление прогиба определяется знаками: плюс – при выпуклости, минус – при вогнутости.

- **перекос** возникает в конструкциях, когда резкая неравномерность осадки развивается на коротком участке сооружения при сохранении вертикального положения конструкций.
- **кручение** сооружения возникает при различном его крене в двух параллельных сечениях.

Основные причины осадок и деформаций можно разделить на две группы:

1. **Общие причины**, связанные с особенностями инженерно-геологических и гидрогеологических условий и физико-механических свойств грунтов:

- способность грунтов к упругим и пластическим деформациям (просадкам, оползням, карстовым явлениям и т. п.) под влиянием нагрузки;
- неоднородное геологическое строение основания, приводящее к неравномерному сжатию и перемещением грунтов под воздействием веса сооружения;
- пучение при замерзании водо-насыщенных и оттаивание мерзлых льдо-насыщенных грунтов;
- изменение гидротермических условий, связанных с сезонными и многолетними колебаниями температуры и уровня грунтовых вод.

2. **Частные причины**, связанные с погрешностями, возникающими при изысканиях и проектировании, с особенностями производства строительных работ, эксплуатацией сооружений и т. п. :

- недостаточно правильная планировка участка, плохой дренаж атмосферных и паводковых вод;
- неточности, допущенные при проведении инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий;
- искусственное понижение или повышение уровня грунтовых вод при проведении строительных работ;
- увлажнение лессовидных и оттаивание мерзлых грунтов;
- ослабление основания подземными разработками, приводящее к смещению всей толщи напластований над выработками или к выносу частиц грунта в выработанное пространство;
- возведение (в непосредственной близости) новых крупных сооружений;
- изменение давления, вызванное надстройкой, переменной загрузкой и т. п.;
- неравномерное распределение давления сооружения по подошве фундамента (ступенчатые надфундаментные конструкции);
- форма, размеры и конструктивная жесткость фундамента;
- вибрация фундаментов, вызываемая работой всевозможных машин или интенсивным движением транспорта.

В общем случае суммарная осадка сооружения складывается из 5 составляющих, каждая из которых вызывается различными причинами:

$$S = S_{\text{упл.}} + S_{\text{выпир.}} + S_{\text{разупл.}} + S_{\text{расст.}} + S_{\text{эксп.}}, \quad (\text{III.7})$$

где $S_{\text{упл.}}$ – осадка, развивающаяся вследствие уплотнения грунтов;

$S_{\text{выпир.}}$ – осадка выпирания, возникающая за счет развития пластических деформаций грунтов в основании (выпирание грунта из-под подошвы фундамента);

$S_{\text{разупл.}}$ – осадка за счет разуплотнения грунта, приводящая к поднятию дна котлована при разгрузке грунтов основания во время выполнения земляных работ (снятие бытового давления);

$S_{\text{расст.}}$ – осадка за счет нарушения структуры (расструктурирования) грунтов основания во время строительства (зависит от производства работ);

$S_{\text{эксп.}}$ – осадка, возникающая при эксплуатации здания.

Осадки уплотнения в отдельных зонах основания под сооружением, как правило, неодинаковы (неравномерны) из-за неоднородности грунтовых условий и неоднородности напряженного состояния в основании. Неоднородность напряженного состояния грунтов в основании образуется в силу нижеследующих причин:

- неравномерной загрузкой фундаментов, в связи с чем, более нагруженный фундамент приходится делать с большими размерами подошвы, что приводит к различному напряженно-деформированному состоянию в основании и различной осадке фундаментов (рисунок III.2);

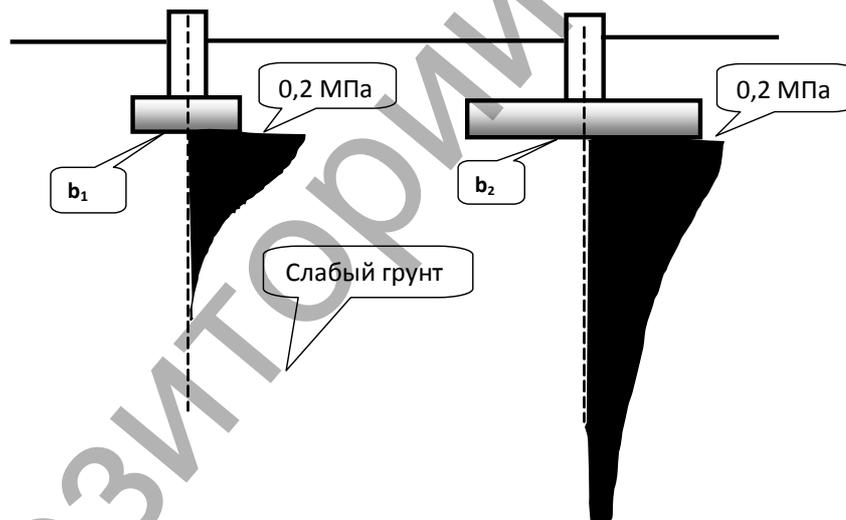


Рисунок III.2 – Неодинаковое нагружение фундаментов

- влиянием загрузки соседних фундаментов, т. е. большее воздействие от взаимного влияния испытывают фундаменты, расположенные в средней части сооружения, и меньшее — в крайней или угловой его части (рисунок III.3, 4);

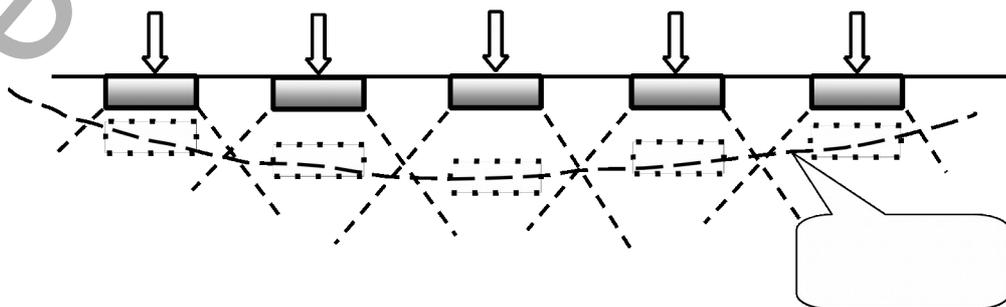


Рисунок III.3 – Влиянием загрузки соседних фундаментов

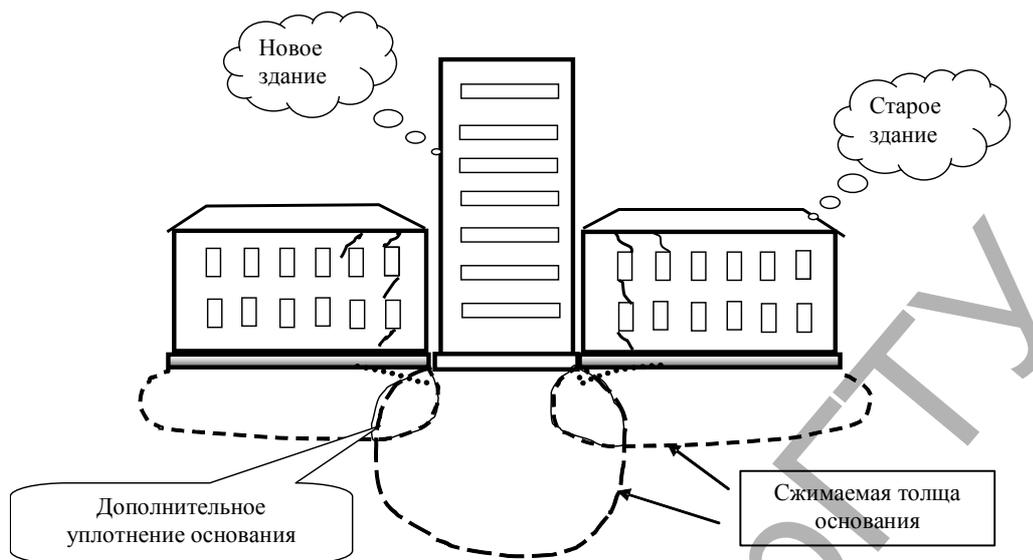


Рисунок III.4 – Влиянием загрузки соседних фундаментов

– неодновременной загрузкой соседних фундаментов в процесс; строительства и эксплуатации (рисунок III.5).

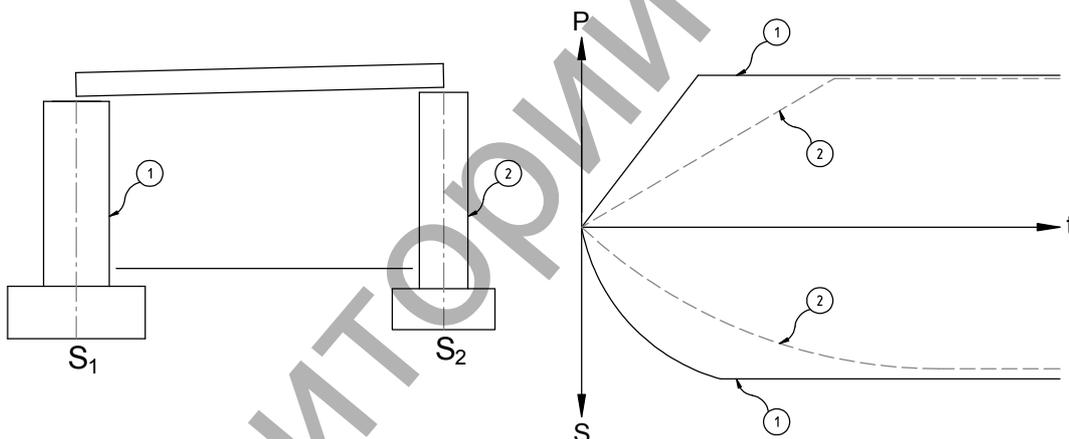


Рисунок III.5 – Не одновременность загрузки фундаментов

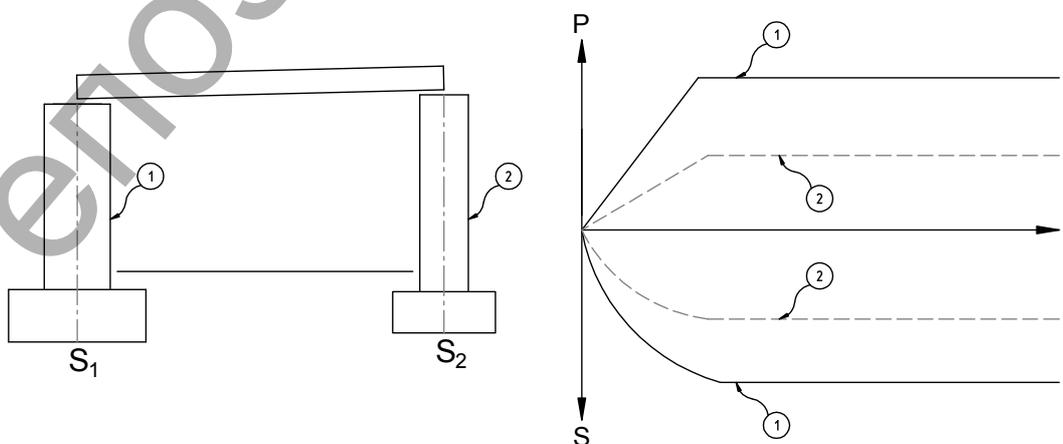


Рисунок III.6 – Не полная загрузка фундаментов

Неоднородность основания обуславливается следующими факторами:

- наличием выклинивающихся слоев (рисунок III.7, а);
- линзообразным залеганием отдельных слоев грунта (рисунок III.7, б);

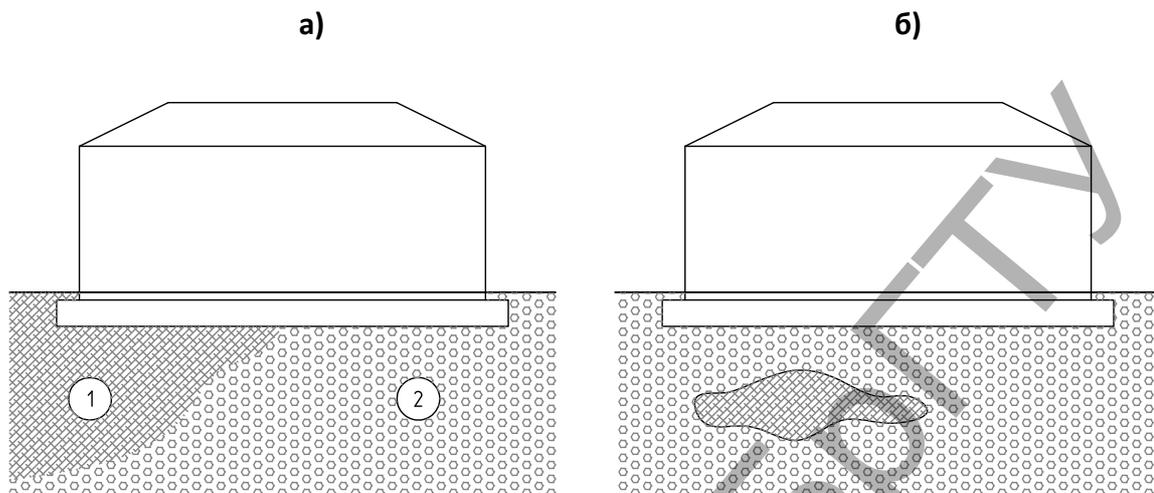


Рисунок III.7 – Сложное (неоднородное) напластовывание грунтов

а) – выклинивание слоев; б) – линзообразное залегание.

- различной толщиной пластов (рисунок III.8);

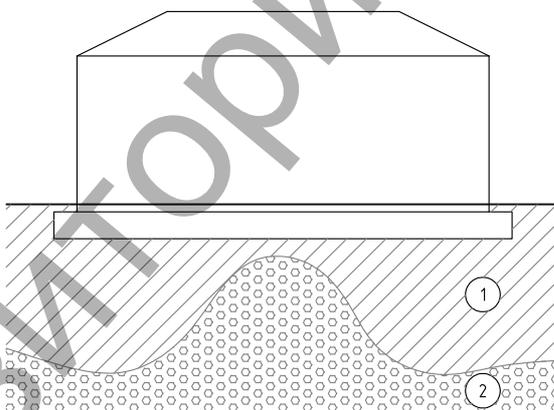


Рисунок III.8 – Сложное (неоднородное) напластовывание грунтов – неодинаковая мощность слоев

- неодинаковой плотностью сложения грунтов;
- передачей давления от различных по массе частей сооружения на разные по своим физико-механическим свойствам грунты оснований;
- неодинаковой уплотняемостью грунтов во времени, обуславливаемой различной скоростью протекания процессов консолидации и ползучести под различными частями сооружения.

Неравномерные **осадки выпирания** возникают за счет появления зон пластических деформаций оснований и выдавливания грунта из-под подошвы фундамента в стороны.

При давлении $P = R$ глубина зон пластических деформаций достигает $\frac{1}{4}b$ (см. рисунок III.9). Чем слабее грунт, тем более глубина развития данных зон пластики.

Дополнительная осадка для квадратного фундамента за счет развития зон пластических деформаций достигает до 20% от общей величины.

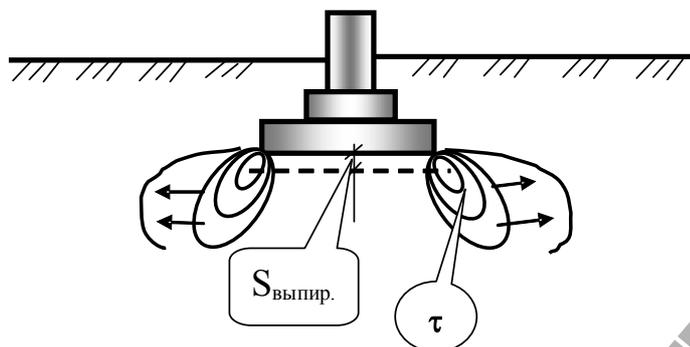
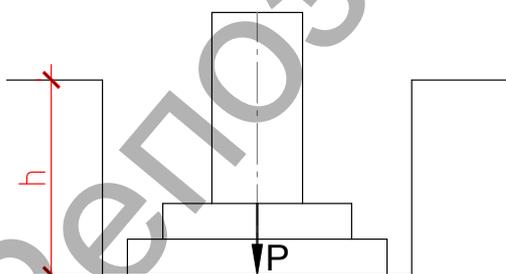


Рисунок III.9 – Схема развития неравномерных осадок выпирания

Неравномерные **осадки разуплотнения** развиваются, когда нагрузки от веса здания или сооружения меньше веса грунта, извлеченного при разработке котлована. Это объясняется тем, что при удалении грунта при отрывке котлована происходит разуплотнение грунтов под его поверхностью в результате снятия действовавших ранее напряжений от собственного веса грунта (разбухание грунта при разгрузке). При глубоких котлованах оказывают влияние и остаточные пластические деформации от давления грунта, расположенного вокруг дна котлована. На развитии разуплотнения грунта сказывается воздействие и деформации упругого последействия. В большинстве случаев при возведении зданий и промышленных сооружений влияние на фундаментах, имеющих заглубление не более 5-ти метров, осадки разуплотнения незначительны.

Пример: Вьетнам. Разработку котлована производили вручную и грунт высыпали на бровку. Днем выкапывают, а утром котлован на той же самой отметке. Происходило выдавливание грунта за счет дополнительной пригрузки краев.

Осадки разуплотнения учитываются только в том случае, если нагрузка от фундамента меньше, чем природное давление грунта на этой глубине.



$P < \gamma \cdot h$ - имеют место осадки разуплотнения, где γ - объемный вес грунта;

$P = \gamma \cdot h$ - плавающий фундамент;

$P > \gamma \cdot h$ - осадки разуплотнения не учитываются

Рисунок III.10 – Назначение осадок разуплотнения

Значительное влияние на развитие неравномерных осадок могут оказать **осадки расструктурирования**, вызванные нарушением структуры грунтов основания при отрывке котлована и устройстве котлована. Неравномерную осадку, образующуюся в результате расструктурирования грунтов, очень трудно прогнозировать

с помощью расчетных методов, поэтому основное требование, выдвигаемое при производстве работ по устройству оснований и фундаментов, заключается в максимальном сохранении природной структуры грунтов основания.

К основным причинам развития неравномерных осадок расструктурирования грунтов основания относятся:

1. Метеорологические факторы:

а). Воздействия отрицательных температур и их колебание (замерзание, оттаивание, пучение);

При воздействии отрицательных температур грунты оснований способны промерзнуть на глубину, которая определяется по данным нормативных документов. При промерзании возможно существенное увеличение объема сильно увлажненных пылевато-глинистых и насыщенных водой пылеватых и мелких песчаных грунтов в результате развития сил морозного пучения. При пучении в основаниях фундаментов развиваются значительные внутренние напряжения, которые в отдельных случаях могут превысить напряжения от внешней нагрузки под подошвой фундаментов зданий и сооружений и привести к значительным вертикальным деформациям. Пучение может оказывать неблагоприятное влияние не только в период отрывки котлована и устройства фундаментов, но и в процессе возведения здания и его последующей эксплуатации. Избежать вредного влияния сил морозного пучения полностью не удастся, даже если подошву фундамента устраивать ниже зоны промерзания, поскольку в данном случае по боковой поверхности фундамента развиваются касательные силы морозного пучения. При наличии отапливаемого подвала в результате развития бокового промерзания грунта возможны горизонтальное смещение и крен фундамента.

В случае оттаивания мерзлого грунта он способен испытывать просадку, которая может быть еще более опасной для зданий и сооружений. Процесс оттаивания грунта протекает неравномерно, с южной стороны здания оттаивание происходит более интенсивно, чем с северной, более быстро оттаивают участки основания под внешними частями здания и медленнее под внутренними. Так как оттаивание сопровождается резким нарушением структуры, то грунт приобретает большую сжимаемость, поэтому не допускается промораживание грунтов ниже дна котлована, даже если грунт предварительно оттаивают перед устройством фундаментов.

б). Увлажнение грунта атмосферными осадками при отрывке котлована и устройстве фундаментов;

Размягчение и набухание грунтов происходят при увлажнении некоторых типов пылевато-глинистых грунтов, находящихся ниже дна котлована, в результате воздействия атмосферных осадков. Этот процесс особенно интенсивно протекает в супесях, пылеватых суглинках, слоистых и трещиноватых глинах. Способность испытывать деформации набухания возрастает при увеличении глинистости. В наибольшей степени подвержены размягчению глинистые грунты, имеющие поры, заполненные воздухом и сообщающиеся с атмосферой. В результате набухания и размягчения ухудшаются физико-механические свойства грунтов, что сопровождается неравномерными осадками. Для сохранения природной структуры грунтов в данном случае прибегают к искусственному отводу поверхностных вод от зоны строительства, а нижний слой грунта, подлежащий разработке, оставляют в

качестве защитного и удаляют его из котлована только непосредственно перед устройством фундаментов.

в). Высыхание грунта в результате действия солнечной радиации.

2. Грунтовые воды:

а). гидростатическое действие воды

Если $H \cdot \gamma_{\text{взр}} > h \cdot \gamma$ имеет место поднятие основания и возможен прорыв воды котлован. Устранить это можно искусственным понижением у.г.в.

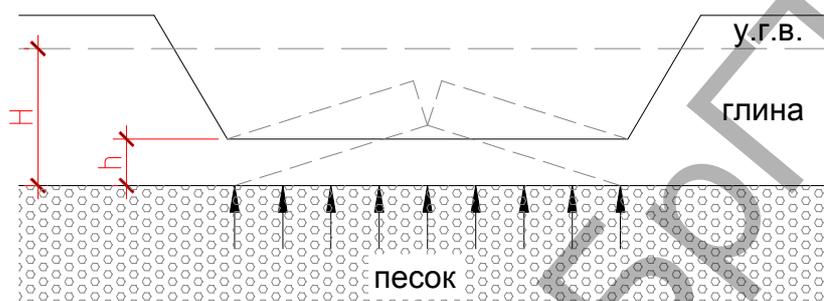


Рисунок III.11 – Гидростатическое действие воды

б). химическая и механическая суффозия

Механической суффозией называют перемещение под действием фильтрационного потока более мелких частиц грунта по порам, образованным более крупными частицами, что приводит к увеличению пористости и водопроницаемости.

Химической суффозией называют процесс растворения минеральных агрегатов скелета грунта, вызывая в некоторых случаях резкое ухудшение физико-механических свойств оснований.

3. Динамические воздействия

Динамические воздействия механизмов часто вызывают существенное нарушение природной структуры грунтов оснований. Этому явлению особенно подвержены насыщенные водой пылеватые пески. Нарушение структуры грунтов возможно в результате использования при земляных работах ударных механизмов (клин-бабы, трамбовки, сваебойные молоты и др.). Для сохранения природной структуры грунтов их разработка ведется легкими механизмами, передвигающимися по краю котлована, на дне которого часто оставляют защитный слой, удаляемый впоследствии с помощью легких землеройных машин.

Развитие **неравномерных осадок в период эксплуатации** происходит из-за:

- деформации ползучести грунта и процесса фильтрационной консолидации;
- Деформации грунта определяются изменением его пористости, деформированием частиц грунта и междучастичных связей. Последние являются высокопластичными и процесс их деформирования происходит не сразу, а с течением времени. Кроме того в порах грунта содержится вода и изменение пористости связано с необходимостью отжатия воды из пор грунта.
- постепенное увеличение нагрузки до полезной;
- увеличение нагрузки сверх полезной;

- изменение положения у.г.в.;
- ослабление грунтов основания подземными и котлованными выработкам;
- динамические воздействия и активность геологических процессов.

Репозиторий БРГТУ

IV. ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ [9]

Натурное обследование металлических конструкций производится с целью:

- проверки соответствия конструкций проекту;
- выявления дефектов и повреждений, являющихся следствием отступлений от требований строительных норм при изготовлении, монтаже, транспортировании, хранении и неудовлетворительной эксплуатации конструкций;
- выявления фактических условий и особенностей эксплуатации конструкций.

Проверка соответствия конструкций проекту производится путем сравнения натуре с рабочими чертежами КМ и КМД. При этом необходимо выполнить:

- натурные измерения основных геометрических параметров (пролетов и высот балок, ферм, шагов колонн и др.);
- измерения поперечных сечений рабочих элементов конструкций, измеряемых в двух-трех местах по длине элемента по предварительно зачищенной до блеска поверхности;
- измерения местоположения стыков, измерения сечений, ребер жесткости, соединительных элементов, связей, опорных частей и т.п.;
- сопоставление с проектом конструкций стыковых соединений, конструкций опорных частей, определяющих несущую способность (опорных столиков, опорных плит, анкерных болтов и т.п.).

Оценка действительного технического состояния металлических конструкций выявляется во время проведения общего обследования и обмерных работ конструкций с одновременным составлением ведомости дефектов.

Целью обмерных работ является уточнение фактических геометрических параметров строительных конструкций и их элементов, определение их соответствия проектной документации или отклонений от нее.

При обследовании конструкций проводят следующие обмерные работы:

- уточняют разбивочные оси сооружения, его горизонтальные и вертикальные размеры;
- проверяют пролеты и шаг несущих конструкций;
- замеряют основные геометрические параметры несущих конструкций;
- определяют фактические размеры расчетных сечений конструкций и их элементов и проверяют их соответствие проекту;
- определяют форму и размеры узлов стыковых сопряжений элементов и их опорных частей, проверяют их соответствие проекту;
- проверяют вертикальность и соосность опорных конструкций, наличие и месторасположение стыков, мест изменения сечений;
- замеряют прогибы, изгибы, отклонения от вертикали, наклоны, выпучивания, смещения и сдвиги;
- проверяют прямолинейность сжатых стержней, наличие соединительных планок, состояние элементов с резкими изменениями сечений;
- определяют фактическую длину, катет и качество сварных швов, размещение, количество и диаметр заклепок или болтов, наличие специальной обработки и пригонки кромок и торцов.

При отсутствии проекта металлоконструкций зданий и сооружений составляются обмерочные чертежи, в которые должны входить:

- план, продольные и поперечные разрезы зданий и сооружений с разбивкой осей и рядов, геодезических отметок;

- план металлических конструкций прогонов, связей по верхним и нижним поясам ферм;
- план, схемы и сечения колонн;
- схема вертикальных и горизонтальных связей между колоннами.

Характерными дефектами, влияющими на эксплуатационную пригодность конструкций, являются:

- отклонения геометрических размеров (размеров сечений, длин элементов, генеральных размеров конструкций) от принятых в проекте, возникающие при нарушении допусков в процессе изготовления и приводящие к изменению напряженного состояния элементов (часто в худшую сторону от принятого при проектировании);
- расцентрирование и неточная подгонка элементов в узлах сопряжений, возникающая на стадии изготовления из-за некачественной сварки и приводящая к дополнительным, не учитываемым в расчете, изгибающим моментам в этих элементах;
- общее искривление элементов больше допустимого нормами при изготовлении конструкций, возникающее из-за нарушений правил сборки и сварки и приводящее к появлению дополнительных, не учитываемых расчетом, изгибающих моментов в этих элементах, снижающих несущую способность последних по устойчивости;
- отклонения от проектного положения конструкций, возникающие из-за некачественного монтажа конструкций и приводящие к появлению дополнительных усилий (крутящих моментов, боковых сил от колес кранов, изгибающих моментов из плоскости фермы и т. п.), не учитываемых расчетом при проектировании;
- отсутствие необходимых по проектной документации элементов или соединений (связей, болтов крепления элементов каркаса, сварных швов и т. п.) вследствие некачественного монтажа и приводящее к изменению расчетных схем конструкций, снижению устойчивости, увеличению деформативности конструкций или всего каркаса;
- дефекты сварных швов (горячие и холодные трещины, непровары, подрезы, шлаковые включения, кратеры, непроектные длины и катеты швов, заварка сварных швов при недопустимо больших зазорах и т. п.), возникающие при нарушении правил сварки конструкций и приводящие к снижению или статической прочности соединений, или хладостойкости и выносливости конструкций;
- дефекты антикоррозионных покрытий, возникающие из-за применения защитных материалов, не соответствующих требованиям действующих ТНПА, при недоброкачественном изготовлении и монтаже, а также при неудачной конструктивной форме и приводящие к сокращению срока службы конструкций, дополнительным эксплуатационным затратам.

Характерными повреждениями, отражающимися на эксплуатационной пригодности стальных конструкций, являются:

- разрывы несущих элементов или их отрыв в соединениях, появляющиеся чаще всего при нарушении правил эксплуатации и приводящие к аварии или аварийной ситуации; аналогичные последствия возникают при наличии вырезов элементов или при демонтаже конструкций в связи с прокладкой инженерных коммуникаций (следствие грубого нарушения правил производства работ и отступления от проекта);
- искривления элементов более допустимых значений, возникающие при нарушении соответствующих правил перевозки, монтажа и эксплуатации конструкций и приводящие к появлению не учитываемых при расчете

эксцентриситетов приложения продольных сил и, как следствие, к аварийной ситуации;

- местные погиби в сжатых или вырезы в растянутых элементах, возникающие или вследствие механических повреждений при транспортировке, монтаже и эксплуатации, или при нарушении правил эксплуатации конструкций (вырезы) и снижающие в ряде случаев несущую способность этих элементов (устойчивость в первом случае и прочность — во втором) до недопустимых пределов;
- ослабление болтовых и заклепочных соединений из-за неудачной конструктивной формы и особенностей силового нагружения, приводящее к снижению несущей способности конструкций и ограничению их эксплуатационной пригодности;
- разрушение защитных покрытий и коррозия металла, возникающие из-за низкого качества защитных материалов, неверного их применения по назначению и нарушения правил технической эксплуатации оборудования и конструкций, приводящие к снижению срока службы, а в некоторых случаях — и к возникновению аварийной ситуации;
- деформации конструкций из-за неравномерных осадок или кренов фундаментов, температурных воздействий в цехах с избыточным тепловыделением, возникающие вследствие ошибок в оценке грунтовых условий строительства при проектировании, нарушений правил эксплуатации и приводящие к непредусмотренному изменению напряженно-деформированного состояния конструкций, а в ряде случаев — и к аварийной ситуации.

Наиболее характерные дефекты и повреждения элементов стальных конструкций приведены в таблице IV.1.

В первую очередь при обследовании следует обращать внимание на дефекты, приводящие к снижению несущей способности конструкций или к ненадежности и несовершенству общей пространственной схемы обследуемого здания или сооружения.

При обследовании металлических конструкций особое внимание необходимо обратить на:

- **колонны** – состояние башмаков, анкерных болтов элементов соединительной решетки, стыковых соединений стенки и поясов, наличие механических повреждений, вертикальность колонн, степень поражения коррозией колонн в опорных узлах в основании и в уровнях отметок покрытия и перекрытий;
- **стропильные и подстропильные фермы** – прямолинейность сжатого пояса и сжатых элементов (особенно составленных из мелких профилей), состояние соединений и опорных узлов, узлы с резкими концентраторами напряжений, дефекты сварных швов, состояние анкерных болтов и опорных плит при опирании ферм на железобетонные колонны и кирпичные пилястры;
- **вертикальные и горизонтальные связи** – наличие искривлений и выгибов (в плоскости и из плоскости), состояние крепления к конструкциям, а также целостность самих элементов связей;
- **подкрановые пути** (рельсы и их крепления) – износ рельсов, размер зазоров в стыках рельсов, состояние рельсовых креплений, положение рельса относительно оси подкрановых балок;
- **подкрановые балки** – состояние металла и сварных соединений верхних и нижних поясов балок со стенками, состояние стыковых соединений, ребер жесткости, опорных частей, а также состояние креплений балок к колоннам;
- **тормозные площадки** – состояние крепления тормозного листа к поясу подкрановой балки и колоннам, наличие в тормозном листе ослаблений вырезами,

не предусмотренными проектом, состояние креплений элементов тормозной решетки и элементов связей.

Таблица IV.1 — Характерные дефекты и повреждения элементов стальных конструкций [9]

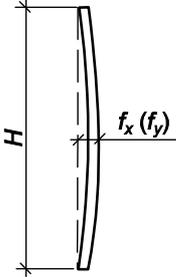
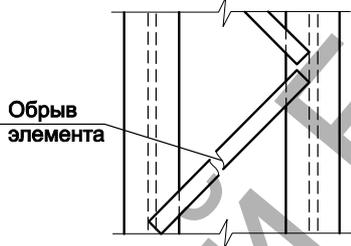
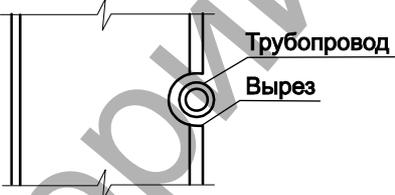
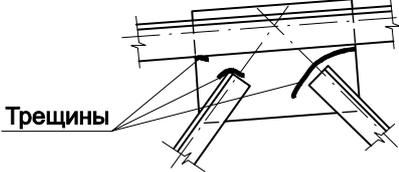
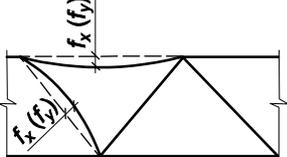
Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные отклонения
Выгибы (кривизна) колонн, опор и связей между колоннами в плоскости (f_x) и из плоскости (f_y)		$f_x (f_y) \leq 0,0013 H$, но не более 15 мм (H — расстояние между точками закрепления)
Разрывы или отсутствие элементов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

Таблица IV.1 (продолжение)

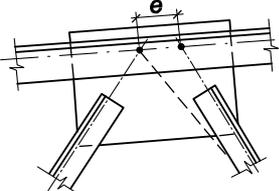
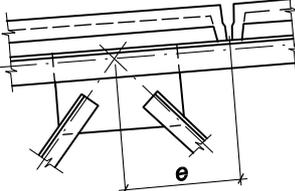
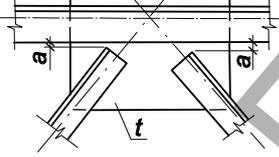
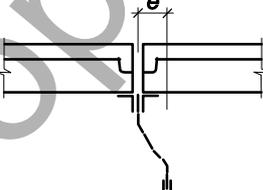
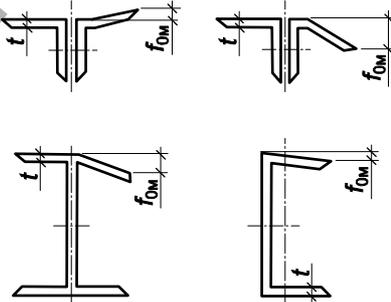
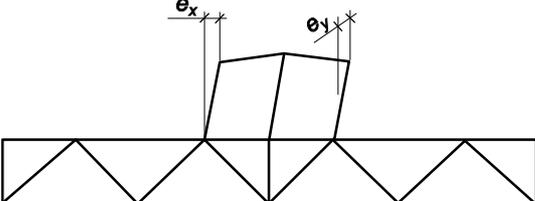
Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные отклонения
Расцентрирование осей стержней ферм в узлах. Расцентрирование осей примыкания связей		$e \leq 3 \text{ мм}$
Смещение опирания плит покрытия и прогонов относительно оси узла фермы		$e \leq 10 \text{ мм}$
Сближение стержней решетки с поясами ферм		$a \geq 6t - 20 \text{ мм}$, но не более 80 мм t — толщина фанонки, мм
Погнутость узловых фанонок. К фанонке примыкает элемент с напряжением в нем более $0,5R_y$		$\text{tg } \alpha \leq 0,01$
Смещение осей верхнего и нижнего поясов ферм относительно друг друга (в плане)		e не более 0,004 высоты фермы
Местные погибы полок уголков, тавров, двутавров		$f_{0m} \leq 0,1t$
Отклонения стоек фонаря и фонарных панелей от вертикали		$e_x \leq 8 \text{ мм}$ $e_y \leq 8 \text{ мм}$

Таблица IV.1 (продолжение)

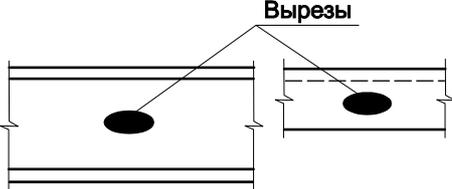
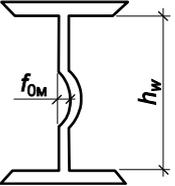
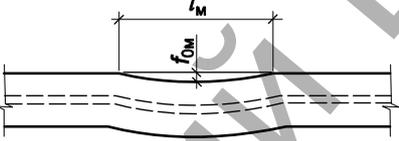
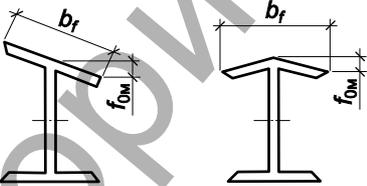
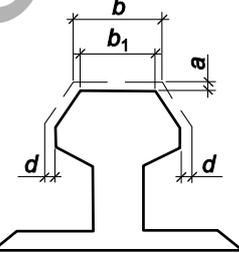
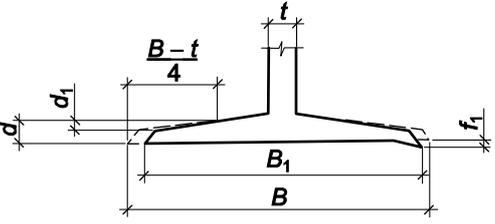
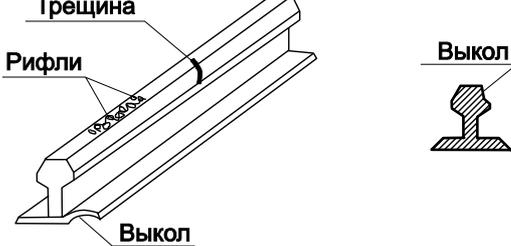
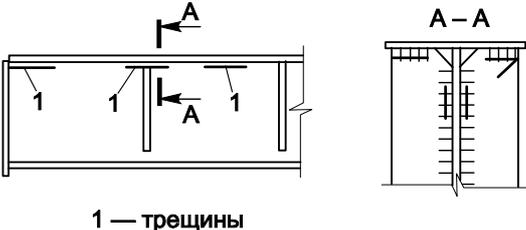
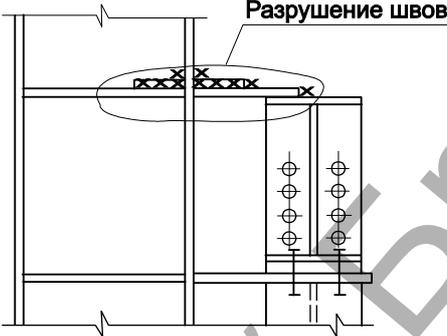
Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные отклонения
Вырывы в элементах конструкций	 <p>Вырыв</p>	Не допускаются
Пробоины и вырезы в стенках и полках элементов	 <p>Вырезы</p>	Не допускаются
Погнутости, вмятины стенки без надрывов и трещин		Без вертикальных ребер $f_{0m} \leq 0,003h_w$, с вертикальными ребрами $f_{0m} \leq 0,006h_w$
Погнутости элементов		$f_{0m} \leq 0,001l_m$, но не более 10 мм
Перекос или грибовидность полок		$f_{0m} \leq 0,005b_f$
Истирание верхней поверхности головки кранового рельса		a, d — не более 15 % соответствующего размера, $d \leq 10$ мм
Уменьшение ширины пояса и толщины полки подвесных путей		$B - B_1 \leq 0,05B$, $d_1 \leq 0,2d$, при одновременном отгибе полки $f_1 \leq 0,1d$
Выколы и изломы в головке и подошве рельса, короткие волнообразные неровности на головке рельса	 <p>Трещина Рифли Выкол</p>	Не допускаются

Таблица IV.1 (окончание)

Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные отклонения
Усталостные повреждения в верхней зоне стенки и ребрах жесткости сварных подкрановых балок	 <p>1 — трещины</p>	Не допускаются
Разрушение сварных швов крепления подкрановых балок к колоннам	 <p>Разрушение швов</p>	Не допускаются

Характерные дефекты и повреждения соединений [9]

В сварных, заклепочных и болтовых соединениях элементов конструкций встречаются дефекты, возникающие в процессе изготовления и монтажа конструкций. Их появление связано с различными видами нарушений технологии изготовления, низким качеством монтажа и отсутствием надлежащего контроля.

К дефектам и повреждениям сварных швов относятся:

- несоответствие размеров швов проектным;
- трещины любой ориентации и длины;
- непровары (несплавления) между основным металлом и металлом шва, а также между валиками шва;
- непровары в корне шва (кроме случаев, оговоренных в ТНПА);
- наплывы, натеки и брызги металла;
- незаваренные кратеры;
- свищи;
- прожоги;
- скопления включений;
- подрезы (кроме случаев, оговоренных в ТНПА), а также отклонения размеров сварных соединений сверх установленных в ТНПА норм;

Обследование сварных швов производится в следующем порядке:

- зачистка швов от шлака, окалины, ржавчины и загрязнений;
- внешний осмотр швов с выявлением дефектов и повреждений в соответствии с требованиями СТБ 1133;
- измерение размеров швов: толщин, катетов и длин;
- в необходимых случаях — определение степени провара и наличия внутренних дефектов (пор, шлаковых включений, внутренних трещин и др.).

Перед осмотром все сварные швы и примыкающие к ним участки околошовной зоны шириной не менее 20мм должны быть тщательно очищены от краски, ржавчины

и грязи до чистого металла. Поверхность швов зачищают металлическими щетками, шлак сбивают молотком, пыль сметают волосяными щетками. С сильно нагруженных швов, расположенных поперек растянутых элементов, и при работе во взрывоопасной атмосфере при сбивании шлака применяются медные или алюминиевые молотки, скребки и щетки.

При визуальном контроле сварных соединений осматриваются все швы и выявляются наружные дефекты сварки (несоответствие размеров шва, подрезы, кратеры, переменное по длине сечение, наружные трещины, поры и т. д.). Для выявления мелких дефектов следует использовать лупы с шести- — восьмикратным увеличением.

Катеты угловых швов измеряются набором шаблонов или универсальными шаблонами конструкции Красовского, Ушеров-Маршака. Измерение катетов швов необходимо производить не менее чем в трех местах по длине шва. Отклонения размеров сварных соединений не должны превышать установленных соответствующих норм (для различных типов сварки).

Для конструкций, работающих в тяжелых условиях: динамические нагрузки, низкая температура эксплуатации, а также в конструкциях, изготовленных из кипящей стали, в случае обнаружения трещин и других дефектов в швах следует определять степень провара угловых швов. Для этого по оси шва засверливается отверстие диаметром 6 мм. Засверленные отверстия рассматриваются в лупу. Затем стенки отверстия подвергаются протравливанию 20 %-ным раствором азотной кислоты и осматриваются через лупу для обнаружения границ сварного шва и следов дефектов. После проведения исследования отверстие промывается водой, высушивается и заваривается с применением электродов, соответствующих стали конструкции, а поверхность шва зачищается наждачным кругом заподлицо с поверхностью шва. Трещины, в том числе не выходящие на поверхность, другие скрытые дефекты стыковых и угловых швов сварных соединений обнаруживаются неразрушающими методами контроля: ультразвуковым по ГОСТ 14782, магнитно-порошковым и электромагнитным по ГОСТ 25225, а также радиографическим при помощи гамма- и рентгенографии по СТБ 1428.

В соответствии с ГОСТ 23118 швы сварных соединений в зависимости от конструктивного оформления, условий эксплуатации и степени ответственности разделяются на I, II и III категории, которые определяют высокий, средний и низкий уровень качества соответственно. Наиболее характерные дефекты и повреждения швов сварных соединений, а также допустимые дефекты по уровням качества приведены в таблице IV.2.

Контроль состояния заклепок и болтов нормальной и повышенной точности выполняется путем простукивания молотком массой от 0,3 до 0,4 кг. При ударе ослабленные заклепки и незатянутые болты издадут глухой дребезжащий звук, а приложенный к ним палец ощущает дрожание. Наиболее ослабленные заклепки и болты проворачиваются от руки и смещаются от удара молотком. Неплотности прилегания головок к пакету и зазоры между листами в пакете проверяются с помощью набора щупов толщиной от 0,1 до 0,5 мм. Характерные дефекты и повреждения заклепочных и болтовых соединений приведены в таблицах IV.3 и IV.4 соответственно.

Таблица IV.2 — Характерные дефекты и повреждения и допустимые дефекты швов сварных соединений по ГОСТ 23118 [9]

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		Высокий	Средний	Низкий
Трещины	Трещины всех видов, размеров и ориентации	Не допускаются		
Поры и пористость	Максимальная суммарная площадь пор от площади проекции шва на оценочном участке*	1 %	2 %	4 %
	Максимальный размер одиночной поры:			
	стыковой шов	$d \leq 0,2S$	$d \leq 0,25S$	$d \leq 0,3S$
	угловой шов,	$d \leq 0,2K$	$d \leq 0,25K$	$d \leq 0,3K$
	но не более	3 мм	4 мм	5 мм
Скопление пор	Максимальная суммарная площадь скопления пор от площади дефектного участка шва**	4 %	8 %	16 %
	Максимальный размер одиночной поры:			
	стыковой шов	$d \leq 0,2S$	$d \leq 0,25S$	$d \leq 0,3S$
	угловой шов,	$d \leq 0,2K$	$d \leq 0,25K$	$d \leq 0,3K$
	но не более	2 мм	3 мм	4 мм
	Расстояние между скоплениями	$L \geq 12t$	$L \geq 12t$	$L \geq 12t$
Газовые полости и свищи	Длинные дефекты	Не допускаются		
	Короткие дефекты:			
	стыковой шов	$h \leq 0,2S$	$h \leq 0,25S$	$h \leq 0,3S$
	угловой шов	$h \leq 0,2K$	$h \leq 0,25K$	$h \leq 0,3K$
	Максимальный размер газовой полости или свища	2 мм	3 мм	4 мм
Шлаковые включения	Длинные дефекты	Не допускаются		
	Короткие дефекты:			
	стыковой шов	$h \leq 0,25S$	$h \leq 0,25S$	$h \leq 0,25S$
	угловой шов	$h \leq 0,25K$	$h \leq 0,25K$	$h \leq 0,25K$
	Максимальный размер включения	3 мм	3 мм	3 мм
Включения меди, вольфрама и других металлов	Инородные металлические включения	Не допускаются		
Непровары и несплавления	Длинные дефекты	Не допускаются		
	Короткие непровары:			
	стыковой шов	Не допускаются		$h \leq 0,1S$
	угловой шов	То же		$h \leq 0,1K$

Таблица IV.2 (продолжение)

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества
-----------------------	---	--

			Макс. 2 мм		
	Расстояние между дефектами	—	$L \geq 12t$		
	Несплавления	Не допускаются			
Непровар (неполное проплавление)		Не допускаются	Длинные дефекты не допускаются		Короткие дефекты:
			$h \leq 0,1S$	$h \leq 0,2S$	
			Макс. 1,5 мм	Макс. 2 мм	
			$+ 0,1K$ Макс. 2 мм	$+ 0,15K$ Макс. 3 мм	$+ 0,2K$ Макс. 4 мм
Подрезы	Должен быть плавный переход от шва к основному металлу и плавные очертания подрезов	$h \leq 0,5$ мм	$h \leq 1,0$ мм	$h \leq 1,5$ мм	
Превышение выпуклости:	Должен быть плавный переход	$h \leq 1$ мм + $+ 0,1b$	$h \leq 1$ мм + $+ 0,15b$	$h \leq 1$ мм + $+ 0,25b$	

Таблица IV.2 (продолжение)

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		Высокий	Средний	Низкий

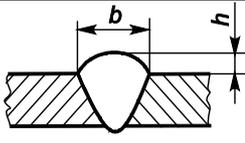
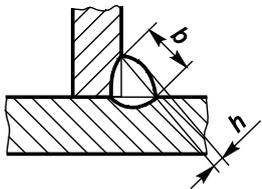
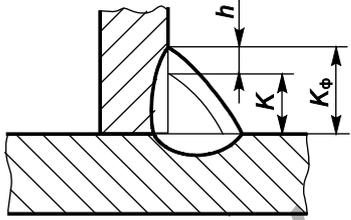
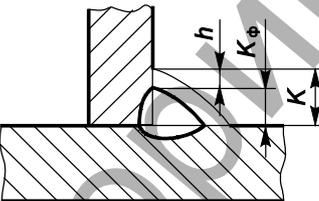
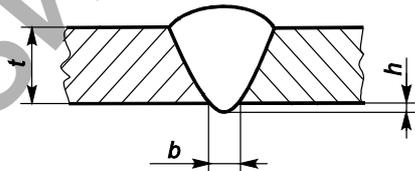
стыкового шва		Макс. 5 мм	Макс. 7 мм	Макс. 10 мм
углового шва		Макс. 3 мм	Макс. 4 мм	Макс. 5 мм
Увеличение катета углового шва	<p>Для большинства угловых швов превышение катета не является причиной браковки</p>  <p>$h = K_{\phi} - K$</p>	$h \leq 1 \text{ мм} +$ $+ 0,1K$	$h \leq 1 \text{ мм} +$ $+ 0,15K$	$h \leq 1 \text{ мм} +$ $+ 0,2K$
		Макс. 2 мм	Макс. 3 мм	Макс. 5 мм
Уменьшение катета углового шва	 <p>$h = K - K_{\phi}$</p>	Не допускаются	Длинные дефекты не допускаются	
			Короткие дефекты: $h \leq 0,3 \text{ мм} + 0,1K$	
			Макс. 1 мм	Макс. 2 мм
Превышение выпуклости корня шва	<p>Чрезмерное проплавление корня шва</p> 	$h \leq 1 \text{ мм} +$ $+ 0,3b$	$h \leq 1 \text{ мм} +$ $+ 0,6b$	$h \leq 1 \text{ мм} +$ $+ 1,2b$
		Макс. 3 мм	Макс. 4 мм	Макс. 5 мм

Таблица IV.2 (продолжение)

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		Высокий	Средний	Низкий
Линейное смещение		а — листы и продольные швы		

кромки	а)		$h \leq 0,1t$ Макс. 3мм	$h \leq 0,15t$ Макс. 4мм	$h \leq 0,25t$ Макс. 5мм
	б)		б — кольцевые швы		
Неполное заполнение разделки кромок (вогнутость шва)	Переход от шва к основному металлу должен быть плавным		Длинные дефекты не допускаются		
			Короткие дефекты:		
			$h \leq 0,05t$ Макс. 0,5 мм	$h \leq 0,1t$ Макс. 1 мм	$h \leq 0,2t$ Макс. 2 мм
Асимметрия углового шва	Разнокатетность углового шва, если она не предусмотрена рабочей документацией		$h \leq 1,5 м м ++ 0,1K$	$h \leq 2 мм + + 0,1K$	$h \leq 2 мм + + 0,15K$
		$h = K_1 - K_2$			

Таблица IV.2 (продолжение)

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества		
		Высокий	Средний	Низкий
Вогнутость корня шва,	Переход от шва к металлу должен быть плавным	$h \leq 0,5 мм$	$h \leq 1 мм$	$h \leq 1,5 мм$

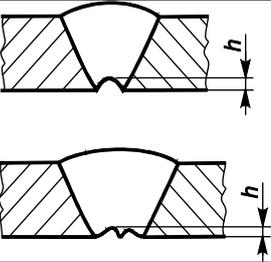
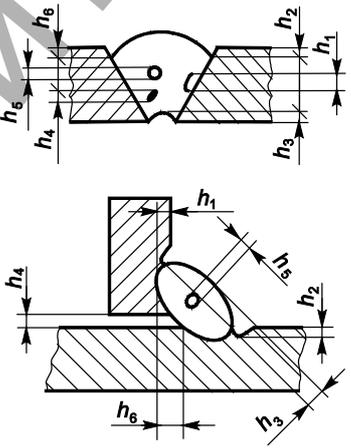
утяжка				
Наплывы		Не допускаются		
Плохое возобновление горения дуги	Местная неровность поверхности шва в месте повторного зажигания дуги	Не допускается	Допускается	
Ожог или оплавление основного металла	Местные повреждения вследствие зажигания дуги вне шва	Без исправления не допускается		
Брызги расплавленного металла	Прилипшие брызги к поверхности металла	То же		
Задиры поверхности металла	Повреждения поверхности, вызванные удалением временных приспособлений	“		
Знаки шлифовки и резки	Местные повреждения вследствие шлифовки и резки	“		
Утонение металла	Уменьшение толщины металла вследствие шлифовки	“		
Совокупность дефектов по поперечному сечению шва	<p>Максимальная суммарная высота коротких дефектов Σh:</p> $h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 \leq \Sigma h$ 	Для $S \leq 10$ мм, $K \leq 8$ мм		
		0,15S	0,2S	0,25S
		0,15K	0,2K	0,2K
		Для $S > 10$ мм, $K > 8$ мм		
0,20S	0,25S	0,3S		
0,2K	0,25K	0,3K		
Макс. 10 мм	Макс. 10 мм	Макс. 10 мм		

Таблица IV.3 — Характерные дефекты и повреждения заклепочных соединений [9]

Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные значения
--------------------------------------	-------------------------------	---------------------

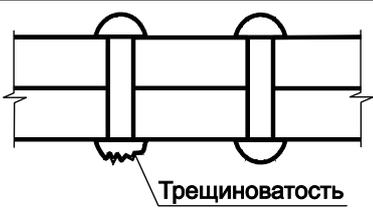
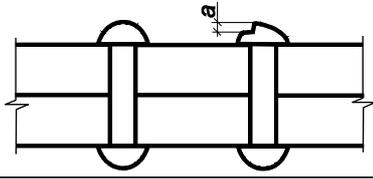
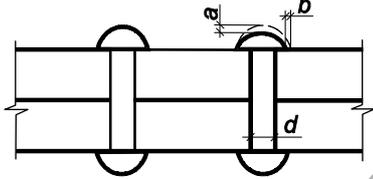
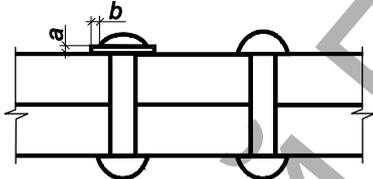
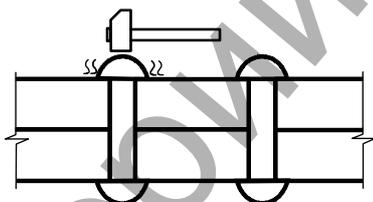
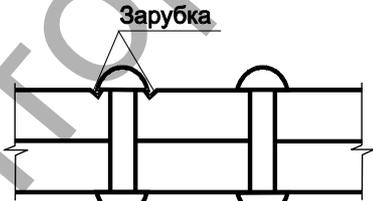
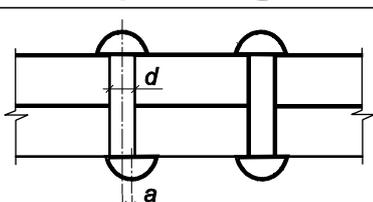
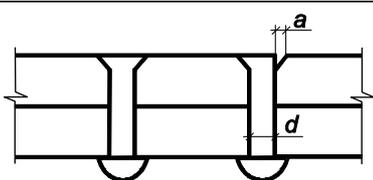
Трещиноватость головки заклепки		Не допускается
Зарубка головки заклепки		$a \leq 2 \text{ мм}$
Маломерная и недооформленная головка заклепки		$a \leq 0,05d, b \leq 0,05d$
Венчик вокруг головки заклепки		$1,5 \text{ мм} \leq a \leq 3 \text{ мм}, b \leq 3 \text{ мм}$
Дрожание или перемещение головки заклепки под ударом молотка массой от 300 до 400г		Не допускается
Зарубка поверхности металла пакета обжимкой		Не допускается
Смещение оси головки заклепки с оси стержня		$a \leq 0,1d$
Неполное заполнение потайной заклепки по диаметру головки		$a \leq 0,1d$

Таблица IV.3 (окончание)

Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные значения
--------------------------------------	-------------------------------	---------------------

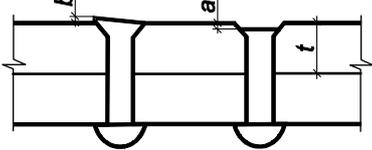
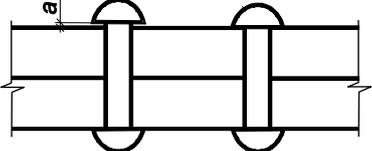
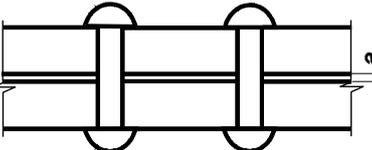
Избыток или недостаток по высоте потайной заклепки		$a \leq 0,05\text{мм}$, $b \leq 0,05\text{мм}$, если не мешает плотному прилеганию другого элемента
Зазор между головкой заклепки и склепываемым пакетом		Щуп толщиной 0,2 мм должен проходить вглубь под головку не более чем на 3 мм
Зазор между склепываемыми пакетами		Щуп толщиной 0,2 мм должен проходить вглубь между склепываемыми деталями под головкой не более чем на 3 мм

Таблица IV.4 — Характерные дефекты и повреждения болтовых соединений [9]

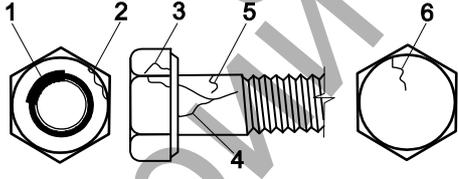
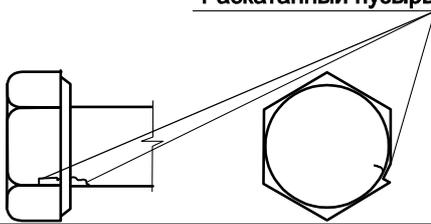
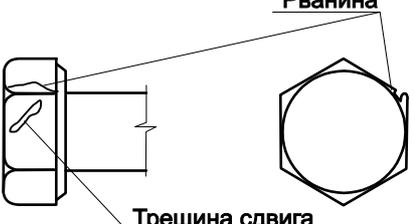
Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные значения
Трещины напряжения: 1 — круговая на радиусе под головкой болта 2 — на опорной поверхности головки 3 — на ребре шестигранника 4 — в продольном направлении 5 — в поперечном направлении 6 — поперечная на торце головки		Не допускаются
Штамповочные трещины		Длина — не более номинального диаметра резьбы (d), глубина — не более $0,04d$
Раскатанные пузыри		Глубина на головке и стержне — не более $0,03d$
Рванины и трещины сдвига		Ширина одной рванины или трещины сдвига — не более $0,08$ диаметра головки

Таблица IV.5 (продолжение)

Наименование дефекта или повреждения	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные значения
--------------------------------------	-------------------------------	---------------------

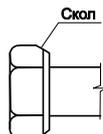
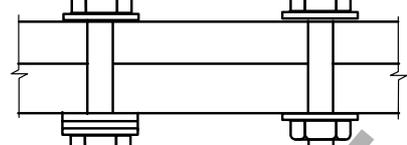
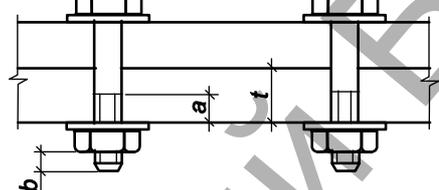
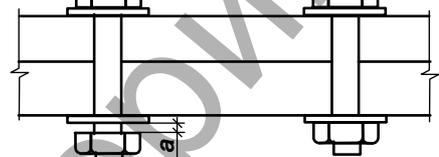
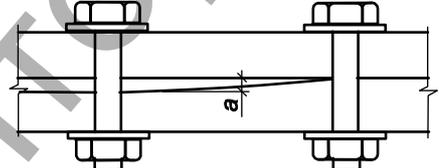
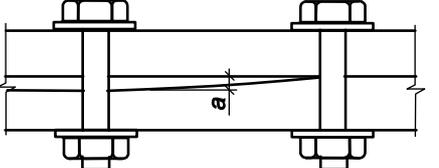
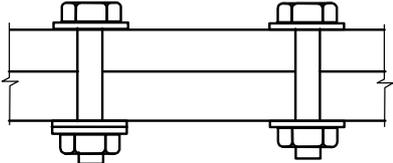
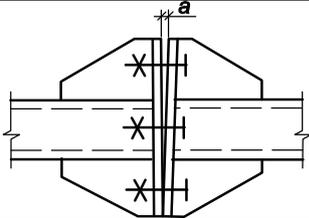
Сколы		Не более 0,15 высоты головки для болтов класса точности А и не более 0,2 — для болтов классов точности Б и В
Соединения на болтах без контролируемого натяжения		
На головке болта отсутствует заводская маркировка, обозначающая класс прочности болта		Не допускается
Под гайкой три и более круглых шайбы по ГОСТ 11371		Не более двух шайб под гайкой и не более одной под головкой болта
Избыток или недостаток в расположении нарезанной части болта относительно крайнего элемента со стороны гайки и выступающей части стержня болта		$a \leq 0,5t, b \geq 3 \text{ мм}$
Зазор между головкой с гайкой болта и поверхностью шайбы		Не допускается
Неплотная постановка болтов, зазоры		Щуп толщиной 0,3 мм в пределах шайбы не должен проходить внутрь между элементами соединений более чем на 20 мм
Соединения на высокопрочных болтах с контролируемым натяжением		
На головке болта отсутствует заводская маркировка временного сопротивления, клеймо предприятия-изготовителя, товарный знак, условное обозначение номера плавки, а на болтах климатического исполнения ХЛ (по ГОСТ 15150) — также и буквы «ХЛ»		—
Зазоры между деталями соединений		Щуп толщиной 0,3 мм не должен проходить между элементами соединений

Таблица IV.5 (окончание)

Наименование дефекта	Эскиз дефекта или повреждения	Предельные значения
----------------------	-------------------------------	---------------------

или повреждения		
Под гайкой две и более шайбы		Не более одной шайбы под гайкой или головкой болта
Перепад поверхностей (депланация) стыкуемых деталей	—	Не более 0,5 мм
Зазоры между соприкасающимися поверхностями фланцев		Щуп толщиной 0,1 мм не должен проходить в зону радиусом 40 мм от оси болта

Выявление коррозионного износа и повреждений антикоррозионного покрытия металлоконструкций

При обследовании конструкций, поврежденных коррозией, необходимо определить ее вид:

- **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 повреждений, отдельные участки конструкций покрываются продуктами коррозии, как и при сплошной коррозии;
- **язвенная коррозия** характеризуется появлением на поверхности конструкции отдельных или множественных повреждений, глубина и поперечные размеры которых (от долей миллиметра до нескольких миллиметров) соизмеримы. Язвенная коррозия обычно сопровождается образованием толстых слоев продуктов коррозии, покрывающих всю поверхность металла или значительные ее участки вокруг отдельных крупных язв (характерно для коррозии незащищенных стальных конструкций в грунтах);
- **точечная (питтинговая) коррозия** характеризуется появлением на поверхности конструкций отдельных мелких (не более 1–2 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 статических 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 и за счет 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 сталь вне узких щелей и зазоров устойчива благодаря пассивному состоянию, т. е. вследствие образования на ее 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;
- **коррозия**, вызываемая токами от внешних источников, присуща конструкциям, описанным выше. Движущей силой процесса являются постоянные токи от посторонних источников, случайно попадающие в протяженные конструкции вследствие отсутствия или неисправности электроизоляционных, заземлительных, электродренажных и тому подобных устройств. Примерами таких источников являются: рельсовый транспорт (для подземных конструкций), сварочные агрегаты, гальванические ванны и т. п. Коррозии подвергаются те участки конструкций, с которых стекают положительные заряды. Коррозия протекает подобно контактной коррозии.

Таблица IV.6 – Основные виды коррозии стальных конструкций [9]

Наименование вида коррозии	Эскиз	Предельное значение
Сплошная		Не допускается
Пятнами (неравномерная)		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

Поверхности элементов конструкций, подлежащих обследованию, необходимо очистить от пыли, грязи, окалины, легко отслаивающихся старых покрытий и продуктов коррозии. При этом следует использовать инструменты и приспособления, не

образующие острых концентраторов напряжений — риск и царапин — на очищенных поверхностях (шаберы, грубую шкурку и т. п.). Поверхности элементов в плоскостях, в которых проводят инструментальные измерения, необходимо очищать до металлического блеска механическими щетками, а затем мелкой шлифовальной шкуркой. Извлекать продукты коррозии из питтингов, язв, узких щелей и зазоров (для последующего проведения измерений глубины коррозионных повреждений) следует остро заточенным инструментом без применения ударного воздействия. Не допускается устанавливать глубину местных коррозионных повреждений путем послыоного сошлифовывания металла на элементах конструкций. Удалять неразрушенное полимерное покрытие с отдельных участков поверхности конструкций допускается при условии своевременного восстановления покрытия на этом участке или в случае, когда принимается решение о необходимости замены, или восстановления покрытия на всей поверхности конструкций.

Толщина элементов, поврежденных коррозией, замеряется не менее чем в трех сечениях по длине элемента. В каждом сечении производится не менее пяти замеров. При сплошной коррозии толщина элементов замеряется с помощью штангенциркулей, микрометров или механических толщиномеров. Толщина замкнутых профилей определяется с помощью ультразвуковых толщиномеров. При язвенной коррозии, а также при наличии питтингов толщина элементов замеряется с помощью измерительных скоб.

За фактическую толщину сечения элемента принимают среднее арифметическое значение [9]:

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (\text{IV.1})$$

где t_i — толщина сечения в i -й точке, мм;
 n — число замеров на элементе.

Число замеров определяется разбросом данных и точностью измерений. Как правило, при сплошной коррозии число замеров толщины сечений на одном элементе составляет от 8 до 10, при язвенной коррозии — от 20 до 30.

При определении величины коррозионного износа должна быть известна начальная толщина элемента t_0 , которая может отличаться от номинальной на величину допуска на толщину проката. Для определения t_0 рекомендуется найти участки поверхности конструкции, на которых отсутствуют коррозионные повреждения или сохранилось первоначальное защитное покрытие, и произвести замер толщины элемента. В случае отсутствия неповрежденного участка начальную толщину следует определять анализом проектных данных с учетом предусмотренных ТНПА допусков, а также замеров толщины элементов штангенциркулем. Производят от 5 до 10 замеров и определяют значения среднего арифметического (t_n) и среднего квадратичного (t_s) отклонений [9]:

$$t_s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - t_n)^2}; \quad (\text{IV.2})$$

По технической документации выясняют типоразмер сечения элемента, предусмотренный проектом. Зная дату выпуска проекта и время постройки объекта, подбором соответствующего сортамента на стальные профили получают номинальную (t_{nom}) и минимальную (t_{min}) толщину сечения с учетом допуска на толщину проката.

- За начальную толщину элемента t_0 принимают наибольшую из двух:
- максимальной, полученной по замерам штангенциркулем,
 - минимальной (t_{\min}) по стандарту.

Среднее значение утонения элемента Δ , мм, определяют по формуле [9]:

$$\Delta_s = t_0 - t; \quad (IV.3)$$

Получив среднее утонение Δ_s , мм, по отдельным элементам, определяют утонение для однотипной группы конструкций [9]:

$$\Delta_{K_s} = \frac{1}{n_s} \sum \Delta, \quad (IV.4)$$

где n_s — количество замеренных элементов однородной выборки, необходимое для получения достоверного результата.

Затем определяют среднюю скорость коррозии V_K для выбранной однородной группы конструкций [9]:

$$V_K = \frac{\Delta_K}{D}, \quad (IV.5)$$

где D — срок службы конструкции к моменту проведения обследования, в годах.

Для определения размеров коррозионных повреждений элементы металлических конструкций необходимо предварительно тщательно очистить от загрязнений, старой краски и продуктов коррозии до металлического блеска. Толщина элемента, ослабленного коррозией, измеряется микрометром или штангенциркулем не менее чем в трех точках. При невозможности измерения толщины с двух сторон применяются ультразвуковые толщиномеры (БУЛАТ-1S, УГ-93П, Кравц 15) (см. рисунок IV.1) либо высверливается отверстие, через которое производится промер. Минимальная из измеренных толщин элемента принимается за расчетную.



Рисунок IV.1 – Измерение толщины металла ультразвуковым толщиномером

Повреждения антикоррозионных защитных покрытий должны устанавливаться визуальным осмотром. Оценка состояния (размер дефектов и степень повреждения) противокоррозионной защиты должна производиться в процессе обследования и устанавливаться в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

Оценка качества металла

Качество стали является одним из главных факторов, определяющих способность элементов конструкции противостоять разрушению, и зависит от марки и технологии изготовления. Оценка качества металла производится в соответствии с действующими стандартами и СНиП, на основании сертификатов, дополнительных испытаний и анализов, определяющих свойства стали.

Дополнительные механические испытания, испытания на ударную вязкость и химический анализ для определения свойств стали в элементах конструкций, которые требуют устранения дефектов, усиления или замены, выполняются в следующих случаях:

- при отсутствии сертификатов;
- при отсутствии в сертификатах данных, регламентированных нормативно-техническими документами;
- когда расчетные напряжения в элементах превышают расчетные сопротивления из стали марки СтО (при растяжении, сжатии и изгибе 170 МПа);
- при изменении условий эксплуатации, сочетания, характера и значений нагрузок;
- при обнаружении в конструкциях трещин;
- при применении сварки;
- когда состояние конструкций и условия эксплуатации вызывают опасения возможности их хрупкого разрушения.

Определение свойств стали производится в целях:

- оценки механических свойств, необходимых для расчета;
- определения возможности применения сварки при устранении дефектов и усилении конструкций;
- оценки надежности металлоконструкций при их эксплуатации;
- определения способности элементов конструкций противостоять хрупкому разрушению.

Для определения свойств стали необходимо провести:

- механические испытания образцов при их статическом растяжении (определяются предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение при растяжении). Отбор заготовок для механических испытаний производится по ГОСТ 9454-78 "Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах." [11], изготовление образцов и их испытание на статическое растяжение по ГОСТ 1497-84 "Металлы. Методы испытания на растяжение" [12];
- испытание на ударную вязкость на стандартных образцах шириной 10 или 5 мм с U-образным надрезом при температуре эксплуатации, если она ниже минус 20°C; при температуре минус 20°C, если температура эксплуатации выше минус 20°C; после искусственного старения при температуре 20°C. Изготовление образцов для определения ударной вязкости и испытание при нормальной и пониженной температурах производятся по ГОСТ 9454-78 "Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах" [13]. Для определения ударной вязкости образцы отбираются таким образом, чтобы одна из граней образца совпадала с поверхностью металла и после ее обработки сохраняла ее следы (для контроля) и чтобы ось надреза была перпендикулярна этой плоскости;
- химический анализ на содержание углерода, кремния, марганца, серы и фосфора.

Для оценки стали по степени раскисления, а именно для определения кипящей, полуспокойной и спокойной сталей, следует исходить из процентного содержания кремния. По ГОСТ 380-94 "Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки" [14] его содержание в стали марки СтЗ составляет:

- в кипящей стали – до 0,07%;
- в полуспокойной стали – 0,05-0,17%;
- в спокойной стали – 0,12-0,30%.

Отбор проб для определения химического состава производится по соответствующим стандартам на металлы и их сплавы «Методы определения общего углерода и графита». Стружка для химического анализа отбирается по всей толщине проката и по возможности равномерно по всему поперечному сечению элемента в количестве не менее 50 г (от одного элемента). При невозможности взять стружку по всему поперечному сечению элемента допускается отбор стружки сверлением на всю толщину проката в средней трети ширины элемента или полки профиля. Перед отбором стружки поверхность элемента в месте взятия пробы должна быть очищена от окалины, краски, грязи, ржавчины, масла и влаги (до металлического блеска). На отобранные заготовки должны наноситься клейма керном или краской; стружка должна быть упакована и замаркирована. На отобранные заготовки и стружку составляется ведомость с указанием элемента, профиля, места вырезки, клейма. При анализе случаев разрушения металлоконструкций, кроме того, выявляется распределение сернистых включений способом отпечатка по Бауману и определяется микроструктура стали. Пробы стали для испытаний отбираются из партии элементов. К одной партии относится не более 30 элементов одного типоразмера проката (лист, уголок и пр.), одной марки стали, входящих в состав однотипных конструкций одной поставки или одного периода изготовления. Количество и размер заготовок, вырезанных из элементов одной партии, зависят от выбранных видов испытаний и количества проб (образцов) для каждого вида испытания (см. таблицу IV.7 ниже).

Таблица IV.7– Количество образцов, требуемые для оценки качества металла [9]

Вид испытания	Количество элементов из одной партии	Количество проб (образцов)	
		из элемента	всего от партии элементов
Испытание на растяжение	2	1	2
Химический анализ	3	1	3
Ударная вязкость при:	+20°С	>3	>6
	-20°С	>3	>6
Отпечатки по Бауману:	2	1	2

Места отбора проб должны располагаться на наименее напряженных участках элементов:

- в нижних поясах ферм - на свободных горизонтальных полках в крайних нижних узлах при шарнирном расчетном опирании ферм или в наименее нагруженных панелях поясов при неразрезной схеме ферм;
- в раскосах – на свободных полках в узлах;
- на фасонках с минимально нагруженными раскосами;

- на нижних поясах балок – на их приопорных участках;
- в стенках балок – в их средней части;
- в колоннах сплошного сечения - в средней части стенки.

Все образцы для механических испытаний вырезаются из сортового и фасованного проката – вдоль направления проката, а из листового и широкополосного – поперек направления проката. Места отбора проб следует назначать вдали от мест с концентраторами напряжений, а последующее усиление этих мест следует производить с примыканием элементов усиления к основному металлу внахлест (примыкание их встык должно быть исключено).

Качество стали оценивается по результатам комплексных испытаний с учетом зависимости между химическим составом и механическими свойствами.

Определение фактических нагрузок, действующих на металлические конструкции [6]

Для установления причин повреждений отдельных элементов металлоконструкций каркасов зданий и сооружений в некоторых случаях при обследовании требуется выявить фактические и прогнозируемые нагрузки, воздействия и условия эксплуатации.

При обследовании определяются:

- нагрузки от собственной массы металлоконструкций (ферм, колонн, связей и т.д.), которые определяются по проектным данным или по натурным измерениям (при отсутствии проекта);
- нагрузки от стационарного технологического оборудования, принимаемые в соответствии с технической документацией;
- нагрузки от массы ограждающих конструкций стен и покрытия, опирающихся на каркас;
- снеговые, ветровые и динамические нагрузки на конструкции;
- крановые нагрузки, принимаемые по заводским характеристикам крана, приведенным в паспортах;
- нагрузки от массы людей, ремонтных материалов, пылевых отложений.

При обследовании учитываются:

- неравномерные осадки фундаментов;
- температурные воздействия;
- воздействия агрессивной среды;
- абразивный износ.

Кроме того, при обследовании учитываются состояние антикоррозионной защиты и загрязненность металлоконструкций, следы использования металлоконструкций в несвойственных им функциях.

Дефекты и повреждения металлических конструкций [6]

Дефекты металлических конструкций и их соединений в зависимости от природы их возникновения можно подразделить на дефекты и повреждения в результате ошибок проекта, низкого качества стали и металлопроката, неудовлетворительного контроля при изготовлении, низкого качества монтажных работ.

1. Дефекты изготовления:

- несоответствие фактических геометрических размеров требованиям проектной документации;
- искажение формы элементов;

- низкое качество сварных, клепаных и болтовых соединений;
- несоответствие качества стали требованиям проектной документации и государственным стандартам;

2. Дефекты транспортировки:

- местные и общие погибы;
- разрывы элементов;
- расстройство соединений;

3. Дефекты монтажа:

- отклонение элементов от проектного положения,
- отсутствие элементов и соединений,
- низкое качество монтажной сварки и установки монтажных болтов.

Дефекты, возникшие при изготовлении и транспортировке конструкций должны быть выявлены и устранены до их монтажа, **дефекты монтажа** - до приемки здания или сооружения в эксплуатацию.

4. Повреждения элементов стальных конструкций и их соединений возникают в процессе эксплуатации в результате:

- силовых,
- механических
- температурных
- и химических (электрохимических) воздействий.

Повреждения от **силовых воздействий** возможны в результате несоответствия расчетных предпосылок реальным условиям работы конструкции и могут быть вызваны следующими факторами:

- несоответствием фактического напряженного состояния расчетному;
- неправильным учетом температурных напряжений, особенно в цехах с большим тепловыделением;
- перегрузкой конструкций кровли, рабочих площадок, мостовых и подвесных кранов в период эксплуатации;
- возникающими в процессе монтажа и эксплуатации нарушениями во взаимном расположении конструкций (например, смещение прогонов, эксцентриситеты крановых рельсов, перепады в стыках рельсов и т. д.), которые приводят к появлению дополнительных, не учитываемых расчетом нагрузок и динамических воздействий;
- осадкой и поворотом фундаментов, приводящих к отклонению конструкций от проектного положения.

Повреждения стальных конструкций от **механических воздействий** могут быть вызваны:

- нарушением правил технической эксплуатации;
- ударами транспортных средств и грузов о конструкции;
- использованием конструкций для подвески балок, опирания домкратов для подъема и перемещения грузов без соответствующего расчета и необходимого усиления;
- вырезкой отверстий в элементах конструкций для пропуска коммуникаций без усиления ослабленных сечений.

Температурные повреждения могут быть вызваны воздействием высоких и низких температур.

Повреждения стальных конструкций от **воздействия высоких температур** появляются при нагреве свыше 200 °С.

Следствием нагрева являются:

- температурные деформации элементов,
- расстройство соединений,
- взаимное смещение конструкций,
- повреждения противокоррозионной защиты и т. п.

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

Повреждения **от воздействия низких температур** возникают в открытых сооружениях и неотапливаемых зданиях при температуре ниже минус 20°С для стали Ст3 и ниже минус 40°С для низколегированных сталей. К этим повреждениям относятся: хрупкие трещины в местах концентрации напряжений (сварные швы, резкие изменения сечений, фасонки ферм и т. п.).

Повреждения **от химических воздействий** возникают в результате действий агрессивных сред и проявляются в виде химической и электрохимической коррозии металлов и разрушения защитных покрытий. **Степень коррозионного повреждения** характеризуется скоростью проникновения коррозии (в мм в год) по толщине поперечного сечения элементов, а также площадью поражения (в см²) конструкций и зависят от следующих факторов:

- степени воздействия агрессивной среды на материал конструкций;
- способов противокоррозионной защиты, количества слоев и покрытий;
- конструктивной формы элементов и расположения их в пространстве;
- соблюдения правил технической эксплуатации конструкций, включая контроль за рабочими параметрами технологического оборудования.

Дефекты и повреждения стальных конструкций в зависимости от вида, характера и места нахождения разделены на 14 групп:

1. ослабление поперечного сечения, отсутствие или разрыв элемента;
2. трещины в основном металле или околшовной зоне;
3. трещины в сварных швах;
4. дефекты сварных швов или отсутствие шва;
5. общее искривление элемента или конструкции по всей длине между точками закрепления;
6. местные искривления на части длины или вмятины;
7. ослабление или отсутствие болтов и заклепок;
8. дефекты головок заклепок, смещения заклепок с разметочных рисок и осей;
9. смещение конструкции относительно проектного положения;
10. взаимные смещения конструкции;
11. зазоры в местах сопряжения элементов или конструкций;
12. коррозионные повреждения;
13. разрушения защитных покрытий и т.д.

Более детальное описание характерных дефектов и повреждений стальных конструкций приведены на рис. IV.2 – рис. IV.5.

Характерные повреждения отдельных видов металлических конструкций

1. Повреждения стальных колонн

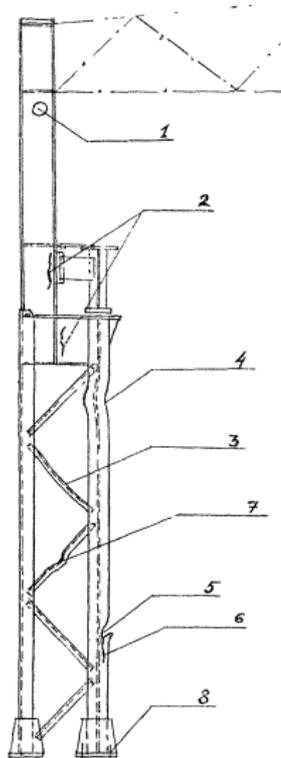


Рисунок IV.2 – Повреждения стальных колонн [15]:

1. вырезы в стенке колонны;
2. трещины в сварных швах;
3. искривления раскосов по всей длине;
4. искривления ветви в плоскости рамы;
5. вырывы в полке подкрановой ветви;
6. трещины в полке ветви;
7. местные погнутости раскосов;
8. обрывы анкерных болтов.

2. Повреждения стальных подкрановых балок

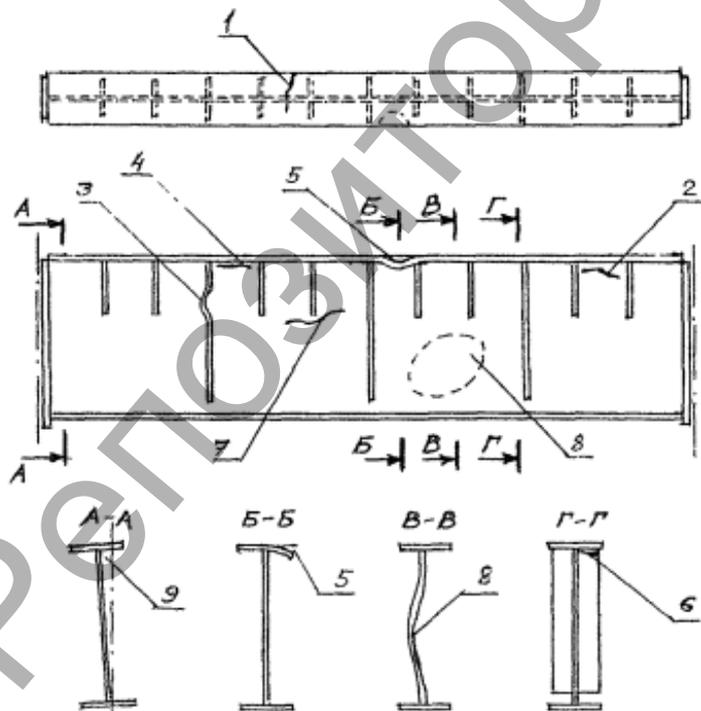


Рисунок IV.3 – Повреждения стальных подкрановых балок [15]:

1. трещины в верхнем поясе;
2. трещины в стенке околошовной зоны верхнего пояса;
3. местные погнутости ребер жесткости;
4. трещины в верхнем пояском шве;
5. волнообразное искривление верхних поясов подкрановых балок и местные погнутости верхнего пояса;
6. трещины в швах крепления ребер жесткости;
7. трещины в стенке, под короткими ребрами;
8. погнутости стенки;
9. отклонения подкрановой балки от вертикальной плоскости.

3. Повреждения тормозных конструкций и узлов крепления подкрановых путей

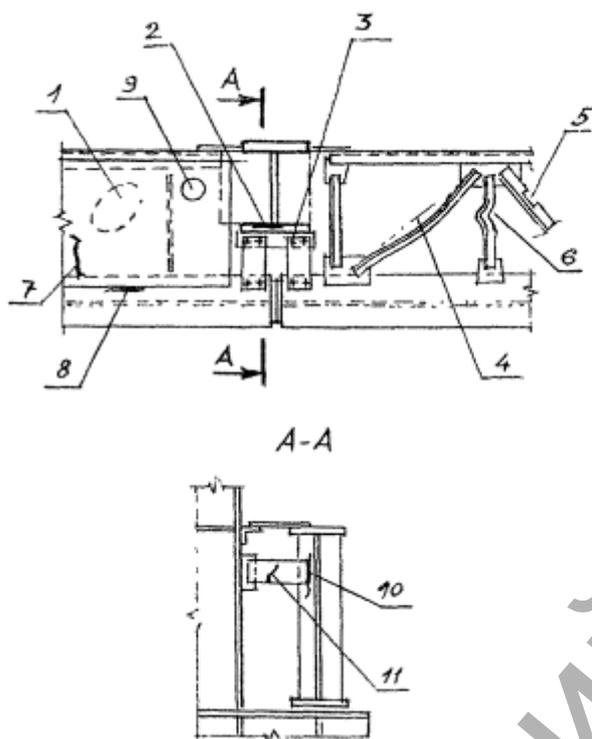


Рисунок IV.4 – Повреждения стальных тормозных путей [15]:

1. Погнутости тормозного листа;
2. трещины в швах крепления узловых элементов к колонне;
3. ослабление болтов крепления узловых элементов в колонне;
4. искривления элементов тормозной фермы;
5. вырезы в элементах тормозной фермы;
6. местные погнутости элементов тормозной фермы;
7. трещины в тормозном листе и фасонках тормозной фермы;
8. трещины в швах крепления тормозного листа и фасонки тормозной фермы;
9. вырезы в тормозном листе;
10. трещины в узловых элементах; трещины в швах крепления узловых элементов к опорному ребру подкрановой балки.

4. Повреждения стропильных и подстропильных ферм:

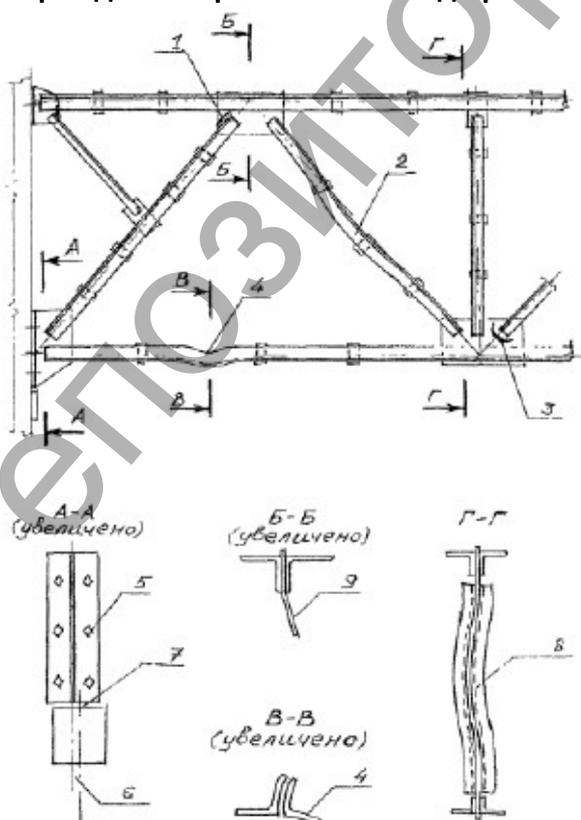


Рисунок IV.5 – Повреждения стальных стропильных и подстропильных ферм [15]:

1. трещины в швах крепления стержней к фасонке;
2. искривления стержней в плоскости фермы;
3. трещины в фасонках;
4. вмятины в полках уголков;
5. ослабление болтов в опорном узле;
6. горизонтальное смещение опорного узла фермы относительно оси колонны;
7. неплотное опирание опорного ребра на опорный столик;
8. искривление стержней из плоскости фермы, внеузловые опирания из фермы плит и прогонов, отсутствие в элементах ферм прокладок («сухариков»).

V. ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Повреждения железобетонных конструкций в зависимости от причин их возникновения могут быть разделены на следующие группы:

- от силовых воздействий;
- в результате чрезвычайных ситуаций (землетрясения, наводнения, взрыва и др.);
- от воздействия внешней среды;
- от температурных воздействий (пожара).

Последние две группы повреждений снижают не только прочность конструкции, но и уменьшают ее долговечность.

Характерными повреждениями железобетонных строительных конструкций от силовых воздействий являются:

- нормальные и наклонные трещины в элементах конструкций;
- чрезмерные прогибы;
- выпучивание сжатой арматуры;
- выкрашивание бетона в сжатой зоне и др.

Трещины силового характера, возникшие от действия изгибающих моментов, расположены в зонах максимальных моментов, перпендикулярно продольной оси конструкции, и имеют клиновидную форму.

Основными дефектами конструкций, возникающими от воздействия внешней среды, являются:

- коррозия бетона и арматуры;
- разрушение материалов от попеременного замораживания и оттаивания и других факторов.

Коррозия бетона [16]. Бетон, как искусственный материал, по составу входящих компонентов достаточно долговечен и не нуждается в специальном уходе, если эксплуатируется в нормальных температурно-влажностных условиях и отсутствии агрессивной среды. В таких условиях работает относительно небольшое количество конструкций, расположенных внутри жилых и общественных зданий или же в сооружениях, эксплуатируемых в теплых и сухих климатических районах. Для большинства же конструкций промышленных предприятий свойственны агрессивная и слабо агрессивная среды. В результате воздействий агрессивной среды в бетоне развиваются физико-химические и физико-механические деструктивные процессы.

Коррозия бетона – понижение эффективности и свойств бетона следствием вымывания или выщелачивания из него растворимых составных частей, образования продуктов коррозии, не обладающих вяжущими свойствами, накопления малорастворимых кристаллизующихся солей.

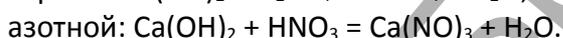
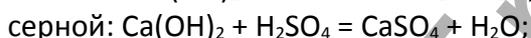
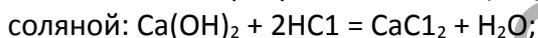
Выделяют три основных вида коррозии бетона:

- **первый вид коррозии** заключается в разъедании структуры цемента камня водой. Составные элементы подвергаются растворению и выводятся из состава бетона. Внешним ее признаком является белый налет на поверхности бетона в месте испарения или фильтрации свободной воды. Коррозия вызывается фильтрацией мягкой воды сквозь толщину бетона и вымыванием из него гидрата окиси кальция: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гашеная известь) и CaO (негашеная известь). В связи с этим происходит разрушение и других компонентов цементного камня: гидросиликатов, гидроалюминатов, гидроферритов, так как их стабильное существование возможно лишь в растворах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ определенной концентрации. Описанный процесс называется **выщелачиванием цементного камня**. По результатам исследований [19] выщелачивание из бетона 16 % извести приводит к снижению его прочности примерно

на 20 %, при 30 %-ном выщелачивании прочность снижается уже на 50 %. Полное исчерпание прочности бетона наступает при 40 - 50 %-ной потере извести. **Коррозии I вида** особо подвержены бетоны на портландцементе. Стойкими оказываются бетоны на пуццолановом портландцементе и шлакопортландцементе с гидравлическими добавками.

- **второй вид коррозии** включает процессы, происходящих при химических взаимодействиях между компонентами цементного камня и активной среды. Продукты реакции, которые образуются или легко растворяются, выносятся из структуры в результате химических процессов, в которых участвует влага, или вообще отлагаются.

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 в результате чего Ca(OH)_2 разрушается:



При фильтрации кислотных растворов через толщу бетона продукты разрушения вымываются, его структура делается пористой, и конструкция утрачивает несущую способность. Таким образом, скорость коррозии возрастает с увеличением концентрации кислоты и скорости фильтрации.

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

Щелочная коррозия цементного камня происходит при высокой концентрации щелочей и положительной температуре среды. В этих условиях растворяются составляющие цементного клинкера (кремнезем и полторные окислы), что и вызывает разрушение бетона. Более стойкими к щелочной коррозии являются бетоны на портландцементе и заполнителях карбонатных пород.

К особо агрессивным средам, вызывающим коррозию II вида, следует отнести:

- свободные органические кислоты (например, уксусная, молочная), растворяющие кальций;
- сульфаты, способствующие образованию сульфата алюмината 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.

- **третий вид коррозии** заключается в процессах, при которых развитие, накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции происходит с увеличением объема уже твердого бетона. То есть кристаллизация этих продуктов вызывает внутренние усилия, которые в дальнейшем разрушают бетон изнутри.

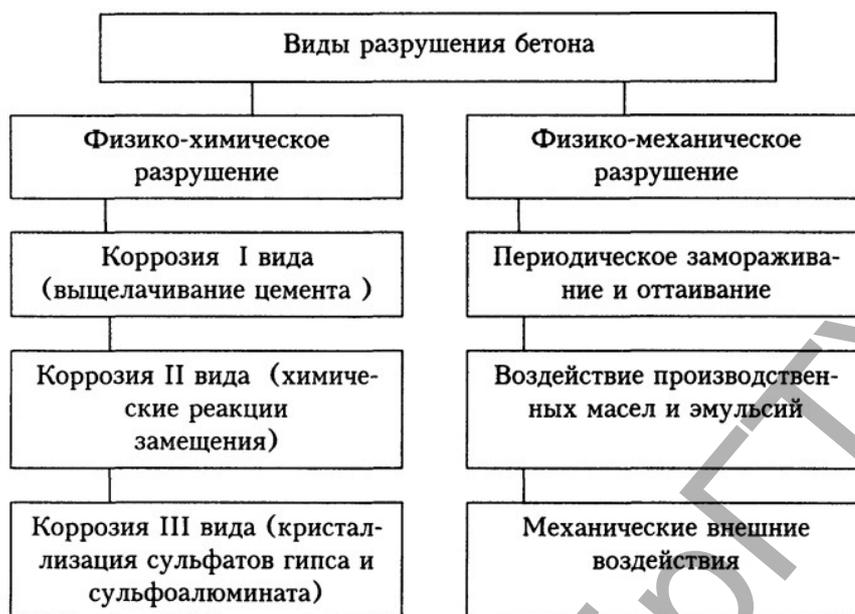


Рисунок V.1 – Классификация видов разрушения бетона [16]

Признаком кристаллизационной **коррозии III вида** является разрушение структуры бетона продуктами кристаллообразования солей, накапливающихся в порах и капиллярах. Кристаллизация солей может идти двумя путями:

1. химическим взаимодействием агрессивной среды с компонентами цементного камня;
2. подсосом извне соляных растворов.

И в том и в другом случаях кристаллы соли выпадают в осадок, кальматируя (заполняя) пустоты в бетоне. На начальном этапе это позитивный процесс, ведущий к уплотнению бетона и повышению его прочности. Однако в последующем продукты кристаллизации настолько увеличиваются в объеме, что начинают рвать структурные связи, приводя к интенсивному трещинообразованию и многочисленным локальным разрушениям бетона. 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 %.

Физико-механическая деструкция (разрушение) бетона при периодическом замораживании и оттаивании характерна для многих конструкций, незащищенных от атмосферных воздействий. Разрушающих факторов при замораживании бетона в водонасыщенном состоянии несколько:

- кристаллизационное давление льда;
- гидравлическое давление воды, возникающее в капиллярах вследствие отжатия ее из зоны замерзания;
- различие в коэффициентах линейного расширения льда и скелета материала и пр.

Постепенное разрушение бетона при замораживании происходит вследствие накопления дефектов, образующихся во время отдельных циклов. Скорость разрушения зависит от степени водонасыщения бетона, пористости цементного камня, вида заполнителя. Более морозостойки бетоны плотной структуры с низким коэффициентом водопоглощения.

Влияние производственных масел (нефтепродуктов) на прочность бетона неоднозначно. Разрушающе действуют на бетон только те нефтепродукты, которые в значительном количестве содержат поверхностно-активные смолы [20]. К ним относятся все минеральные масла, дизельное топливо. В то же время бензин, керосин, вазелиновое масло практически не снижают прочность бетона, однако, как и другие нефтепродукты, уменьшают сцепление бетона с арматурой. Так, например, при воздействии керосина сила сцепления бетона с гладкой арматурой уменьшается примерно на 50% .

Коррозия арматуры. Коррозия арматуры является частным случаем многообразного явления коррозия металлов.

Коррозия (от лат. *corrosio* – разъедание) – это самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде. Пример – кислородная коррозия железа в воде: $4\text{Fe} + 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$. [21].

Арматура в бетоне играет исключительно важную роль, так как воспринимает растягивающее напряжение от внешней нагрузки, обеспечивая прочность конструкции, поэтому коррозия арматуры недопустима.

Под влиянием щелочной среды цементного бетона ($\text{pH} = 12,5 - 12,6$) стальная арматура пассивируется, т.е. защищается от окисления. Однако 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 значения $\text{pH} = 9,5$, в арматуре начинаются окислительные процессы.

Скорость депассивации арматуры зависит главным образом от толщины защитного слоя бетона и степени агрессивности среды. Нормы [22] регламентируют эти величины также с учетом показателя проницаемости бетона [22, табл. 1] и типа арматурной стали [22, табл. 10].

Виды коррозии арматуры

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. На интенсивность солевой коррозии арматуры влияет кислород, который окисляет ионы двухвалентного железа и понижает перенапряжение водорода на катодных участках. С повышением концентрации кислорода скорость коррозии увеличивается.

Рассматривая воздействие газов, следует особо отметить агрессивность окислов азота (NO, NO₂, N₂O) и хлора (Cl), которые в присутствии влаги вызывают сильную коррозию арматуры.

Практика обследования железобетонных конструкций, соприкасающихся с грунтом, указывает на частые случаи разрушения арматуры блуждающими токами, которые появляются из-за утечек электроэнергии [16]. В месте входа тока в конструкцию образуется катодная зона, а в месте выхода - анодная, или зона коррозии. Опыты показывают, что блуждающие токи распространяются на десятки километров в стороны от источника, практически не утрачивая силы тока, которая может достигать сотни ампер. Обычно скорость разрушения арматуры блуждающими токами заметно превышает скорость разрушения от химической коррозии.

При анализе агрессивных воздействий на железобетонные конструкции учитываются факторы, сопутствующие коррозии арматуры (рисунок V.2), и, кроме того, разрабатываются соответствующие защитные мероприятия.

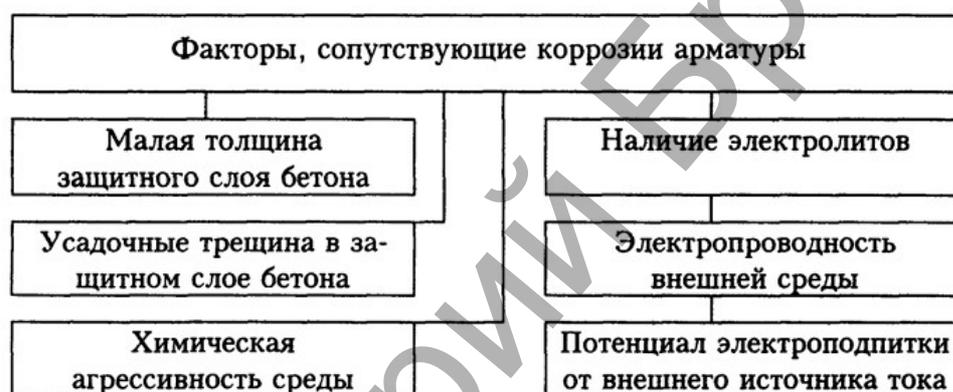


Рисунок V.2 – Классификация факторов, сопутствующих коррозии арматуры [16]

Дефекты и повреждения, возникающие от воздействия высоких температур

Бетон является негорючим и достаточно огнестойким материалом. Однако под воздействием высоких температур снижаются его прочность и защитные свойства по отношению к заключенной в нем арматуре. Кроме того, при продолжительном пожаре сильно нагревается сама арматура, в которой появляются значительные пластические деформации. В результате этого изгибаемые элементы получают недопустимые прогибы и чрезмерно раскрытые трещины, а внецентренно сжатые элементы теряют устойчивость. При температуре пожара 1000...1100°C в течение одного часа арматура, расположенная в бетоне, на глубине 2,5 см может нагреваться до температуры 550°C, при этом модуль упругости снижается на 40...60%.

Дефекты и повреждения, возникающие от воздействия высоких температур, характеризуются, как правило, изменением цвета бетона, образованием на поверхности бетона сетки из мелких трещин с отслаиванием защитного слоя, а также появлением в растянутой зоне бетона вертикальных и наклонных трещин, появлением прогиба сверх нормативного и др.

При длительном воздействии повышенных температур цвет бетона изменяется:

- при температуре до 300 °C бетон принимает розоватый оттенок;
- при температуре 400...600 °C — красный цвет;
- при температуре 900...1000 °C — бледно-серый оттенок.

В соответствии с [23] степень повреждения железобетонных Конструкций после пожара характеризуется показателями, приведенными в таблице V.1.

Таблица V.1 – Оценка состояния железобетонных конструкций при температурных воздействиях (пожарах) [23]

№ п.п.	Контролируемый показатель	Категории				
		1	2	3	4	5
1	Прогиб	В пределах допустимого нормами			Более, чем допускается нормами	
2	Изменение цвета бетона	нет		до розового	от розового до красного	до темно-желтого
3	Оголение рабочей арматуры	нет	оголена часть периметра рабочей арматуры на длину не более 20 см, кроме стержней в зоне анкеровки	оголена часть периметра рабочей арматуры на длину не более 40 см, кроме стержней в зоне анкеровки	оголена рабочая арматура по всему периметру на длину не более 30 см, кроме стержней в зоне анкеровки	оголена рабочая арматура по всему периметру, включая стержни в зоне анкеровки
4	Отслаивание поверхностного слоя бетона от основной массы конструкции	нет	местами (до 3-х мест) в пределах защитного слоя бетона на площади не более 30 см ² каждое	местами в пределах защитного слоя бетона на площади не более 50 см ² , кроме зоны анкеровки	на глубину более толщины защитного слоя бетона, но не более 5 см, кроме зоны анкеровки	на глубину более 5 см
5	Трещины в бетоне не более, мм	0,1	0,3	0,5	1,0	более 1,0
6	Снижение прочности бетона, %	Нет	5	20	30	более 30

В зависимости от характера и величины повреждений, для конструкций установлено пять категорий их технического состояния (см. п. «Категории технического состояния строительных конструкций»), которые определяют соответствующие мероприятия по восстановлению их эксплуатационной надежности.

Характерные повреждения железобетонных конструкций

Трещины в сжатых элементах

Появление продольных трещин вдоль арматуры (рисунок V.3) в сжатых элементах свидетельствует о разрушениях, связанных с потерей устойчивости (выпучиванием) продольной сжатой арматуры из-за недостаточного количества поперечной (косвенной) арматуры.

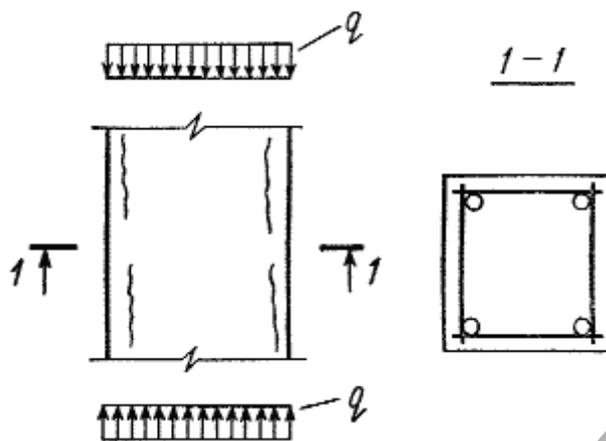


Рисунок V.3 – Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах [4]

Дефекты в виде трещин и отслоения бетона вдоль арматуры железобетонных элементов могут быть вызваны и коррозионным разрушением арматуры. В этих случаях происходит нарушение сцепления продольной и поперечной арматуры с бетоном. Нарушение сцепления арматуры с бетоном за счет коррозии можно установить простукиванием поверхности бетона, при этом прослушиваются пустоты. Продольные трещины вдоль арматуры с нарушением сцепления ее с бетоном могут быть вызваны и температурными напряжениями при эксплуатации конструкций с систематическим нагревом свыше 300°C или после действия пожара.

Характер трещинообразования ствола железобетонной колонны зависит от эксцентриситета приложения нагрузки. При больших эксцентриситетах в растянутой зоне могут образовываться широко раскрытые горизонтальные трещины, свидетельствующие о перегрузке колонны или ее недостаточном армировании. При малых эксцентриситетах появляются вертикальные трещины, являющиеся следствием перегрузки колонны или низкого класса бетона.

Появление вертикальных силовых трещин часто провоцируется усадочными, совпадающими с ними по направлению. Картина трещинообразования в колоннах представлена на рисунке V.4.

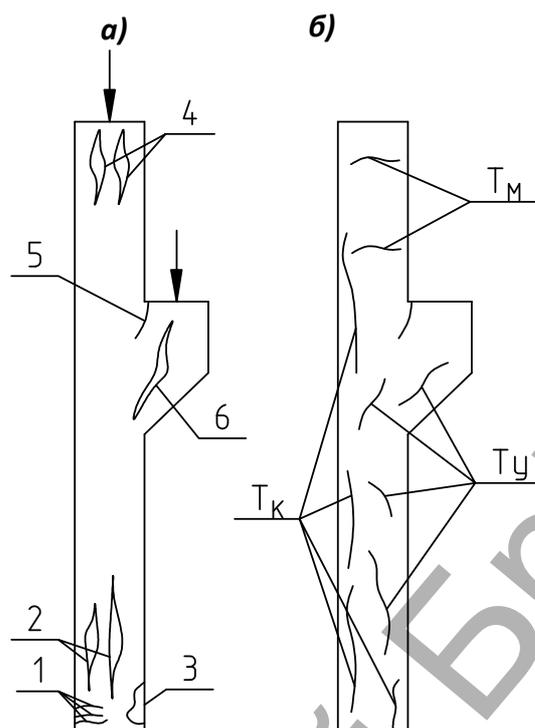


Рисунок V.4 — Картина трещинообразования в колоннах сплошного сечения [4]:

а) — трещины от действия эксплуатационных нагрузок;

1 — перегрузка колонны по нормальному сечению, недостаточное количество рабочей продольной арматуры;

2 — перегрузка ствола колонны при малом эксцентриситете нагрузки, низкий класс бетона;

3 — большой шаг поперечных стержней, плохое приваривание поперечных стержней к продольным, потеря местной устойчивости сжатой продольной арматуры;

4 — отсутствие косвенного армирования оголовка колонны, низкий класс бетона;

5 — недостаточное количество продольной арматуры в консоли, перегрузка консоли;

6 — недостаточное армирование консоли горизонтальными и наклонными стержнями, низкий класс бетона, перегрузка консоли;

б) — трещины от усадки бетона (T_y), коррозии арматуры (T_k), монтажных нагрузок (T_m).

Трещины в стропильных фермах

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 V.5.

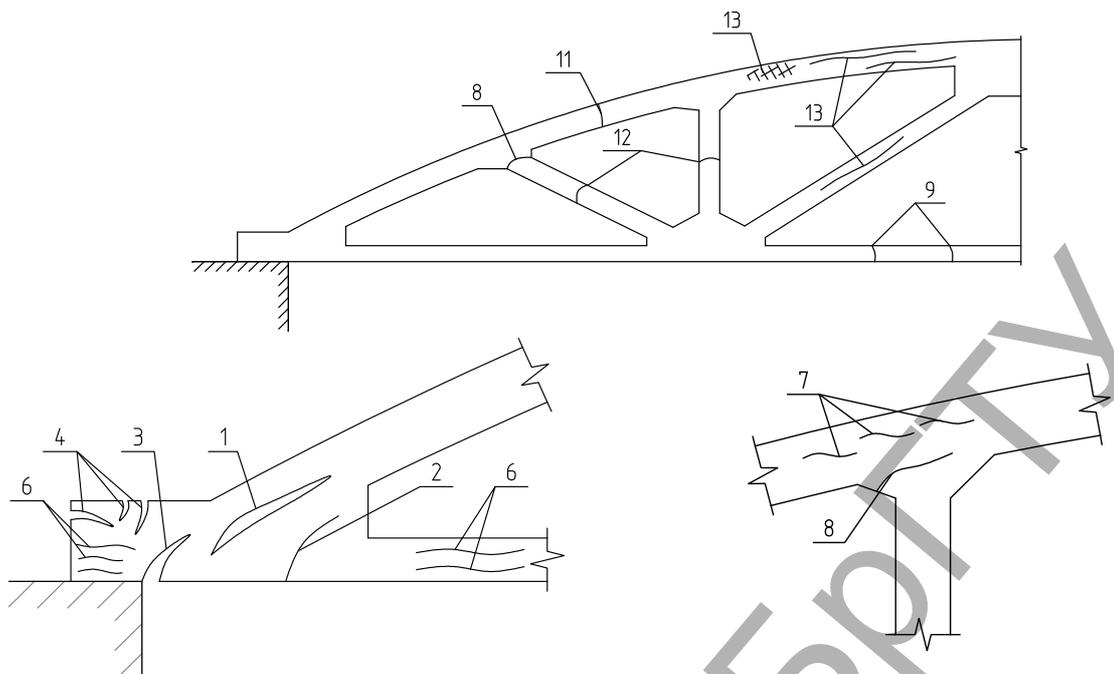


Рисунок V.5 — Картина трещинообразования в стропильной раскосной ферме [4]

Наклонные трещины опорного узла: 1 — низкий класс бетона, недостаточное количество поперечной арматуры, большой шаг стержней, малый диаметр; 2 — недостаточное преднапряжение продольной арматуры, проскальзывание ее в зоне заанкеривания, недостаточное количество поперечной арматуры; 3 — нарушение анкеровки преднапряженной арматуры: низкий класс бетона, недостаточная прочность бетона на момент обжатия.

Лучеобразные вертикальные трещины: 4 — недостаточное косвенное армирование от усилий обжатия преднапряженной арматуры.

Горизонтальные трещины: 5 и 6 — отсутствие косвенного армирования (сетки, замкнутые хомуты) в зоне заанкеривания преднапряженной арматуры, низкая прочность бетона на момент обжатия;

Наклонные трещины в верхнем поясе: 7 — недостаточное косвенное армирование узла поперечными стержнями (сетками).

Трещины, перпендикулярные оси элементов фермы: 8 — недостаточное заанкеривание рабочей арматуры растянутого элемента в узле фермы, слабое косвенное армирование узла; 9 — недостаточное преднапряжение нижнего пояса, перегрузка фермы.

Продольные трещины в сжатых элементах: 10 — низкий класс бетона, перегрузка фермы.

Монтажные трещины: 11 — изгиб из плоскости фермы при монтаже, перевозке, складировании.

Нормальные трещины в растянутых элементах: 12 — перегрузка фермы, смещение арматурного каркаса относительно продольной оси элемента; 13 — откол лещадок.

Трещины опорного узла ферм по своей природе близки к трещинам на опорах балок. оявление горизонтальных трещин в нижнем напряженном поясе (поз. 6 рисунок V.5) свидетельствует об отсутствии или недостаточности поперечного армирования в обжатом бетоне. Нормальные (перпендикулярные к продольной оси) трещины (поз. 9) появляются в растянутых стержнях при необеспеченности трещиностойкости элементов. Причем следует обратить внимание на то обстоятельство, что снятие внешней нагрузки на ферму, уменьшая растягивающие усилия в нижнем поясе, приводит к закрытию трещин типа 9, но при этом может вызвать увеличение раскрытия трещин типа 4, 5.

Появление повреждений в виде лещадок (поз. 13) свидетельствует об исчерпании прочности бетона на отдельных участках сжатого пояса или на опорах.

Трещины в плитах перекрытия и сборных панелях перекрытий

Для плит перекрытий характерно развитие трещин силового происхождения на нижней растянутой поверхности плит с различным соотношением сторон (рисунок V.6). При этом бетон сжатой зоны может быть не нарушен. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты. Как видно из рис. V.6, характер трещин, обусловленных силовым воздействием, зависит от статической схемы плиты перекрытия, вида и 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 (сетка смещена к нейтральной оси). Трещины силового характера достаточно легко отличить от усадочных и вызванных коррозией арматуры (последние представлены на рис. V.9). Усадочные трещины при ширине раскрытия до 0,1 мм не опасны и обычно устраняются оштукатуриванием поверхности.

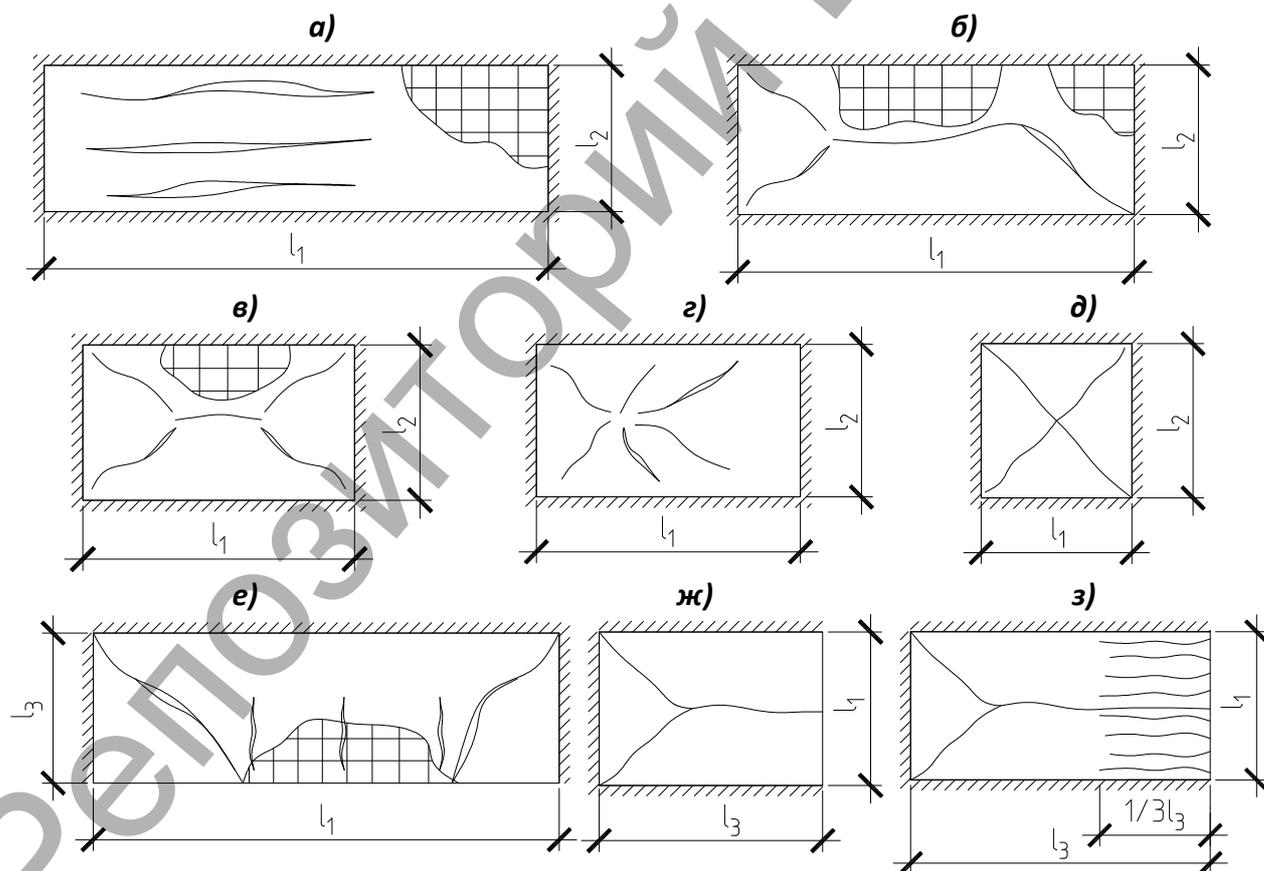


Рисунок V.6 – Характерные силовые трещины на потолочной поверхности плит, нагруженных равномерно распределенной (а), б), в), д), е), ж), з) и сосредоточенной (г) нагрузками [4]: а) — работающих по балочной схеме при $l_1/l_2 > 3$; б) — опертых по контуру при $2 < l_1/l_2 < 3$; в), г) — то же при $l_1/l_2 = 2$; д) — то же при $l_1/l_2 = 1$; е) — опертых по трем сторонам при $l_3/l_1 = 0,3-0,5$; ж) — то же при $l_3/l_1 = 1,5$; з) — то же при $l_3/l_1 > 1,5$

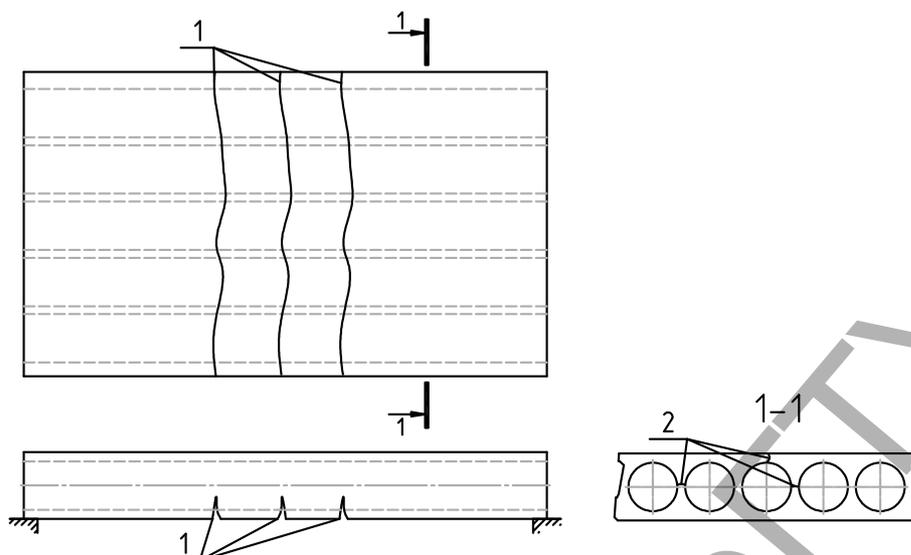


Рисунок V.7 – Силловые и технологические трещины в пустотной панели перекрытия [4]:

1 — силловые трещины; 2 — технологические трещины

Рисунок V.8 — Силловые трещины на потолочной поверхности ребристой панели перекрытий [4]:

1 — в полке панели; 2 — нормальные в продольном ребре; 3 — наклонные в продольном ребре; 4 — продольные в поперечном ребре

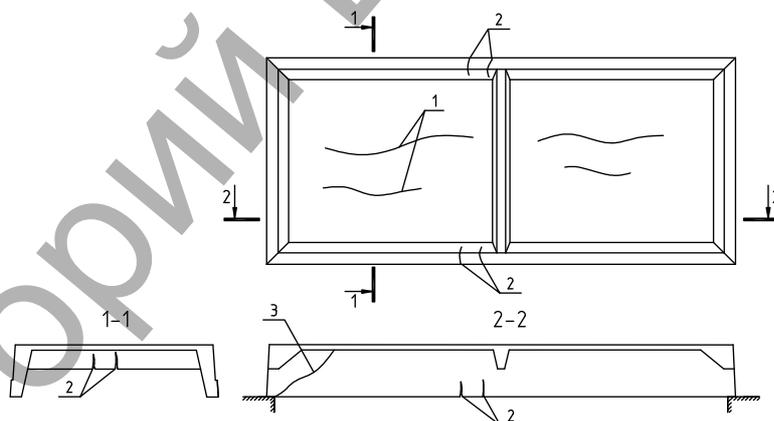
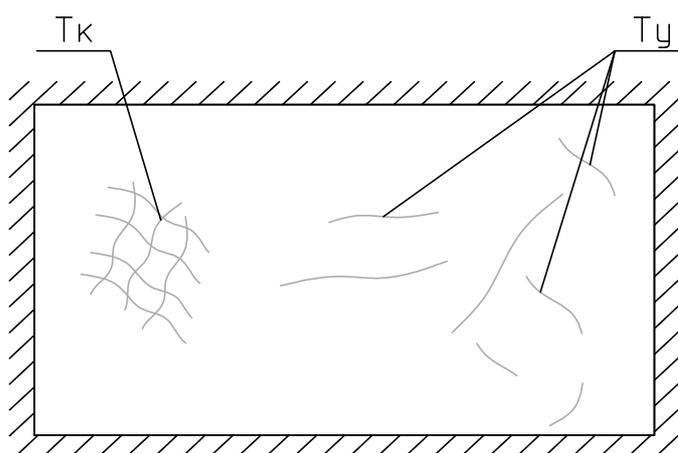


Рисунок V.9 — Трещины на потолочной поверхности плиты перекрытия, образовавшиеся от усадки бетона и коррозии арматуры: [4]:

T_k — трещины от коррозии;

T_y — трещины усадки бетона.



VI. ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Работа каменной кладки под нагрузкой

Прочность каменной кладки зависит от свойств кирпича (камня) и раствора. Предел прочности при сжатии, например, кирпичной кладки, выполненной даже на высокомарочном растворе, при обычных методах возведения составляет не более 40...50% предела прочности кирпича. Объясняется это тем, что поверхности кирпича и шва кладки не идеально плоские, плотность и толщина слоя раствора в горизонтальных швах не везде одинакова и вследствие этого давление в кладке неравномерно распределяется по поверхности кирпича и вызывает в нем кроме напряжений сжатия напряжение изгиба и среза. Поэтому каменные материалы, слабо сопротивляющиеся изгибу, разрушаются в кладке раньше, чем сжимающие напряжения в них достигнут предела прочности при сжатии. Под воздействием внешних нагрузок в кладке создается напряженное состояние, которое развивается по схеме, представленной на рисунке VI.1.

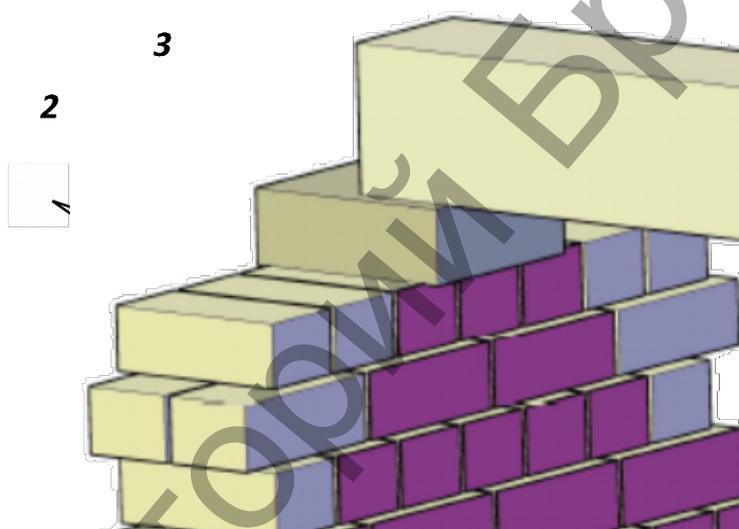


Рисунок VI.1 – Схема распространения напряжений в кладке

1 – кладка, воспринимающая нагрузку; **2** – опорная подушка; **3** – ригель

Напряженное состояние в кладке возникает не только от сжимающих, а от горизонтальных, изгибающих, вибрационных и других нагрузок. При постепенном увеличении нагрузки на кладку до величины, превышающей предел прочности, то сначала в отдельных кирпичах появятся вертикальные трещины (см.рисунок VI.2,а) преимущественно под вертикальными швами, там, где концентрируются напряжения растяжения и изгиба. При последующем увеличении происходит развитие трещин и они разделяют кладку на отдельные столбики (см.рисунок VI.2,б). Окончательное разрушение кладки происходит из-за потери устойчивости, выделенных вертикальными трещинами участков каменной кладки. Способность кладки сохранять свое положение при действии сжимающих нагрузок, называют **устойчивостью**. Напряженное состояние при осевом сжатии кладок из других стеновых материалов аналогично состоянию кирпичной кладки.

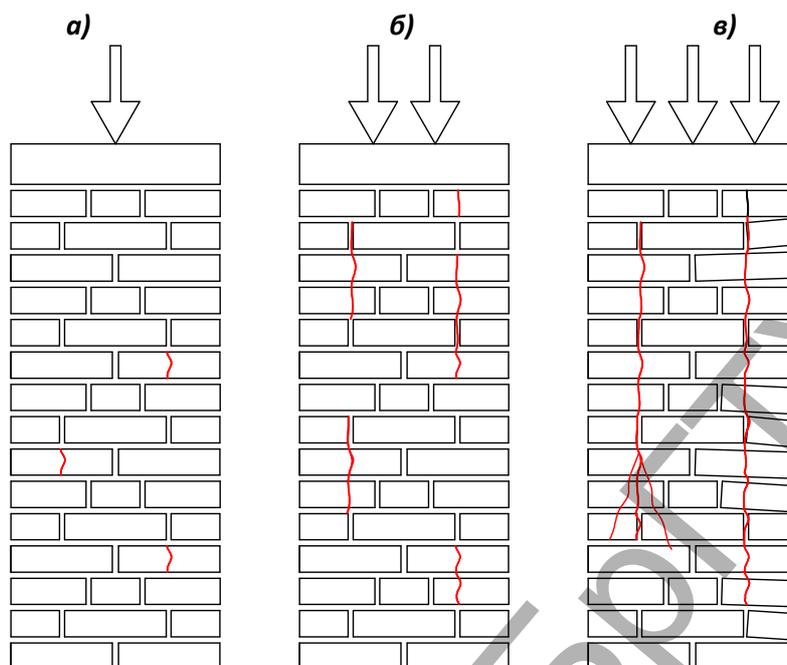


Рисунок VI.2 – Стадии работы кирпичной кладки под нагрузкой [6]:

- а)** – трещины в кирпичах; **б)** – разделение кладки трещинами на столбики;
в) - выпучивание и разрушение кладки.

Дефекты и повреждения каменных конструкций [6]

Наиболее характерные дефекты каменных конструкций могут быть подразделены в зависимости от причин их возникновения:

1. Конструктивные ошибки:

- неравномерные осадки части здания (см. п. «Виды деформаций грунтовых оснований и смещения сооружений»), в результате чего в кладке появляются напряжения, приводящие к разрыву кладки и образованию трещин (рисунок VI.3);

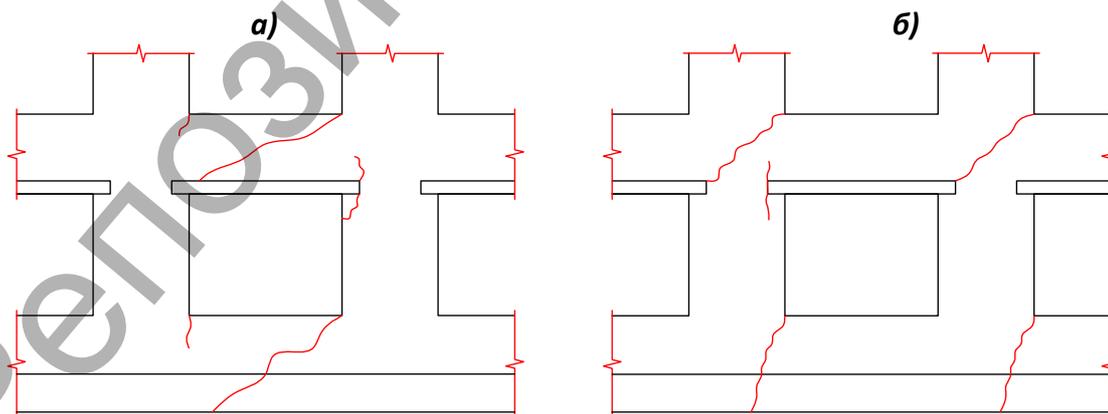


Рисунок VI.3 – Схемы трещин:

- а)** – вызванных неравномерной осадкой фундаментов; **б)** – вызванных деформацией перекоса.

- несоответствие несущей способности материала стен действующей нагрузке;
- применение теплых растворов со шлаковыми добавками и повышенной зольностью;
- нарушение пространственной жесткости стенового остова. В «слабоперевязанных» местах примыкания поперечных несущих стен к наружным самонесущим, что особенно проявляется при сравнительно слабых грунтах.

2. Неудовлетворительная эксплуатация:

- просадка фундаментов из-за неудовлетворительного технического состояния подземных инженерных коммуникаций;
- систематическое переувлажнение кладки стен в результате неисправного состояния элементов систем водоотвода с покрытий (карнизных сливов кровель из стальных листов, водосточных труб), отмостки по периметру здания (см. рисунок VI.4);



Рисунок VI.4 – Переувлажнение кладки стен

3. Производственные ошибки:

- некачественная перевязка швов каменной кладки. Некачественная перевязка провоцирует раннее образование таких трещин и снижает несущую способность на величину до 25%;
- утолщение горизонтальных швов в каменной кладке. При толщине швов более 20 мм прочность кладки снижается на 10...20% в зависимости от марки раствора. Для такого снижения прочности достаточно 3-4-х утолщенных швов на 1 м высоты, при большем их количестве прочность снижается еще больше;
- неоднородность растворной пастели, т.е. приготовление раствора без соблюдения рецептуры, преждевременное схватывание в процессе выполнения кладки;
- плохое заполнение вертикальных швов в каменной кладке. Данный дефект приводит не только к резкому снижению теплозащитных свойств наружных стен, но и к снижению прочности кладки не менее чем на 10%, поскольку незаполненные вертикальные швы — это "инициаторы" вертикальных трещин;
- некачественное армирование каменной кладки. Армирование сдерживает поперечные деформации кладки и, тем самым, повышает ее прочность при сжатии. Рост прочности зависит не только от диаметра стержней и размеров ячеек арматурных сеток, но и от того, с каким шагом по высоте они установлены. Если расстояние между

соседними сетками хотя бы в одном месте оказалось больше проектного, то прочность всего элемента определяется прочностью этого слабого участка, а если хотя бы в одном месте расстояние превышает 400 мм (или 5 рядов кладки из стандартного кирпича), то проку от армирования нет вообще. Между тем именно несоблюдение шага сеток (пропуски) является весьма распространенным браком в работе каменщиков, в результате которого несущая способность стен и простенков резко снижается;

- дефекты кладки, вызванные нарушением правил производства работ в зимних условиях. Например, кладка кирпича на обледенелую поверхность. Прочность кладки определяется не только прочностью кирпича и раствора (при соблюдении прочих требований), но и сцеплением между ними. Если прерванную кладку продолжать по обледенелой поверхности (а это часто происходит, когда накануне шел дождь, а ночью подморозило), то сцепление свежеложенного раствора со старой кладкой будет отсутствовать — даже при последующем оттаивании наледи. Столь же негативный результат — и при использовании обледенелого кирпича. Прочность такой кладки настолько резко снижается, что может привести к разрушению колонн и простенков при действии нагрузок, далеко не достигших расчетных значений (известно немало таких случаев). Именно этой причиной объясняется известное технологическое требование: при перерыве в работе, когда появляется риск образования наледи, горизонтальную поверхность кладки необходимо укрывать рубероидом, пленкой или др. водонепроницаемым материалом. Понятно, что одновременно надо укрывать и поддоны с кирпичом;
- снижение марки кирпича и раствора на прочность кладки. Марка кирпича влияет на прочность кладки сильнее, чем марка раствора. Причем, чем выше марка раствора, тем ее влияние слабее. Например, снижение марки кирпича со 100 до 75 снижает прочность кладки на 16...17%, а аналогичное снижение марки раствора — всего на 5...6%;
- пробивка проемов в кирпичной кладке с нарушением технологической последовательности;
- укладка балок и прогонов на кирпичные стены и опоры без распределительных плит опорных плит;
- нарушение связи стен с диском перекрытия. Среди специалистов распространено мнение, что анкеровка нужна для того, чтобы предотвратить выдергивание перекрытий из стен при воздействии случайных неблагоприятных факторов. Однако в данном случае причину путают со следствием. Расчетная схема несущей каменной стены многоэтажного здания представляет собой сжатоизогнутый элемент, закрепленный в уровне междуэтажных перекрытий. Данная расчетная схема справедлива при условии, что стена связана с ними анкерами, поэтому правильной формулировкой является не «анкеровка перекрытий в стенах», а «анкеровка стен в перекрытиях». То, что анкера не установлены хотя бы в одном перекрытии, означает, что пропущена точка закрепления сжатоизогнутого элемента и его длина между точками закрепления и гибкость возросли вдвое. В результате стена окажется перегруженной, что приведет к аварийным последствиям. Поэтому анкеровке стен в уровне перекрытий необходимо уделять особое внимание, учитывая то, что исправление подобного дефекта — мероприятие исключительно дорогостоящее как по расходу металла, так и по затратам труда. Следует также помнить о том, что если со стеной анкером связан один конец плиты или балки, то с противоположной стеной должен быть связан и другой конец. Кроме того, анкера должны располагаться строго

перпендикулярно оси стены и не иметь начальных искривлений, в противном случае они не смогут выполнить свою функцию;

4. Ошибки проектирования:

- несоответствие расчетных схем фактической работе конструкций, ошибки в определении действующих нагрузок, приводящее к перенапряжению оснований или кирпичных простенков малого сечения;
- увеличение этажности здания без учета действительной несущей способности стен и фундаментов;
- расположение вновь проектируемого здания в непосредственной близости от существующего без разработки особых мероприятий, направленных на снижение влияния на работу грунта под существующими фундаментами, добавочной нагрузкой от вновь возводимого здания;
- отсутствие или неправильный шаг температурных швов. Вертикальные и горизонтальные деформации кладки наружного слоя наружных стен могут значительно отличаться от деформаций внутреннего слоя и перекрытий. Для компенсации температурно-влажностных деформаций должны выполняться вертикальные деформационные швы. Их отсутствие приводит к образованию и раскрытию вертикальных трещин в лицевом слое из кирпичной кладки (рис. VI.5). Трещины возникают преимущественно на углах здания и развиваются в течение длительного времени.

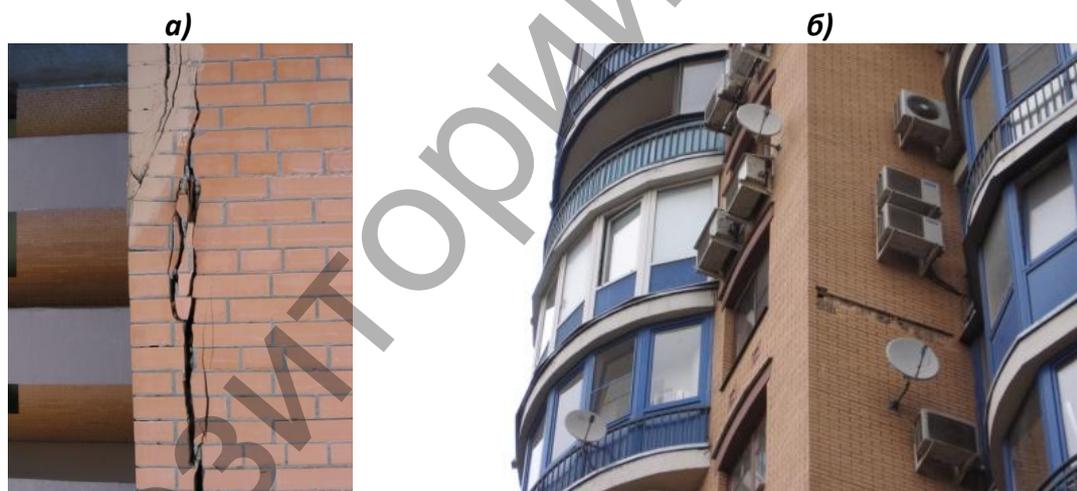


Рисунок VI.5 – Повреждения в лицевой кладки стен:

- а)** – вертикальная трещина в лицевом слое кладки трехслойной наружной стены вследствие отсутствия вертикальных температурных и горизонтальных деформационных швов;
- б)** - Разрушение кирпичей лицевого слоя наружной трехслойной стены в уровне перекрытия вследствие отсутствия горизонтального деформационного шва.

Наблюдения за трещинами

Наиболее характерным повреждением каменных конструкций является трещины, различной природы. При оценке несущей способности каменных конструкций наибольший интерес представляют так называемые силовые трещины, вызванные перегрузкой конструкций. Наблюдения за развитием трещин в стенах во времени осуществляются с помощью гипсовых, стеклянных или пластинчатых маяков.

Рекомендуемые размеры и схемы установки указанных маяков на трещинах показаны на рис. VI.6.

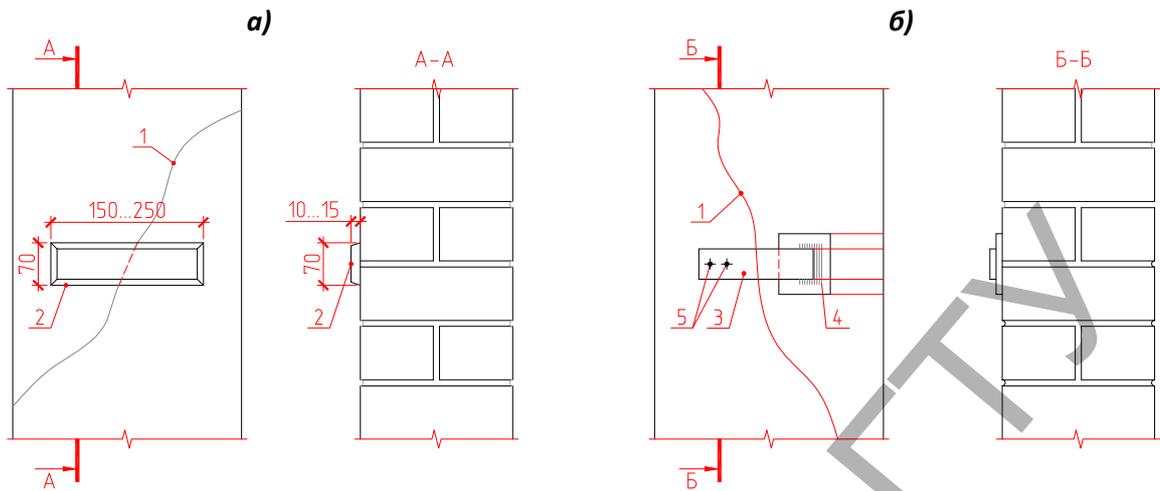


Рисунок VI.6 – Маяки для наблюдения за раскрытием трещин, в стенах и перегородках [6]:

1 - трещина; 2 - маяк гипсовый или из стекла; 3 - металлическая пластинка; 4 - риски; 5 - гвоздь

Ширина раскрытия трещин может быть измерена с помощью:

- градуированных луп и микроскопов (МИР-2, МПБ-2) с 2,5-24-кратным увеличением;
- целлулоидных или бумажных трафаретов, с нанесенными на них линиями разной толщины от 0,05 до 2 мм, путем совмещения линий с краями трещины;
- масштабных линеек при раскрытии трещин более 2 мм (точность измерений $\pm 0,3$ мм).

При длительных наблюдениях ширина раскрытия трещин за рассматриваемый период определяется с помощью переносных индикаторов с ценой деления 0,01 мм и штангенциркулей с ценой деления 0,1 мм. Величина раскрытия принимается равной разности двух измерений расстояния между штырями (реперами) с центрирующим устройством, заделанными в конструкцию по обе стороны трещины.

Глубина развития несквозных (слепых) трещин h_{mp} определяется:

- по следу трещины на поверхности керна, высверленного из тела конструкции;
- с помощью стальных калиброванных щупов различной толщины по формуле:

$$h_{mp} = \frac{\delta_n}{\delta_{щ}} \cdot h_{щ} \cdot 5 \quad (VI.1)$$

где δ_n – раскрытие трещины снаружи в мм (среднее из трех измерений);

$\delta_{щ}$, $h_{щ}$ – толщина щупа и глубина погружения щупа в трещину в мм без усилия (среднее из трех измерений при смещении щупа по трещине на 1-2 см);

- с помощью ультразвуковых приборов (УКБ-1М; УК-10П; УЗП-62 и др.). Глубина трещины определяется по разности времени прохождения ультразвуковых импульсов в МКС на длине базы a - с трещиной и без трещины по формуле

$$h_{mp} = \frac{a}{2\tau_a} \sqrt{\tau_l^2 - \tau_a^2} \quad (VI.2)$$

где τ_l и τ_a – время прохождения ультразвука соответственно на участке с трещиной и без трещины.

Оценки по несущей способности [6]

Оценка технического состояния каменных, крупноблочных и крупнопанельных конструкций по прочности является основным видом оценки. Несущая способность армированных и неармированных каменных и крупноблочных конструкций определяется в соответствии с указаниями [24] по проектированию каменных и армокаменных конструкций с использованием данных обследований: фактической прочности камня, бетона, раствора, предела текучести арматуры и т.п. При этом должны учитываться факторы, снижающие несущую способность конструкций:

- наличие трещин и дефектов;
- уменьшение расчетного сечения конструкций в результате механических повреждений, агрессивных и динамических воздействий, размораживания, пожара, эрозии и коррозии, устройства штраб и отверстий;
- эксцентриситеты, связанные с отклонением стен, столбов, колонн и перегородок от вертикали и выпучиванием из плоскости;
- нарушение конструктивной связи между стенами, колоннами и перекрытиями при образовании трещин, разрывах связей;
- смещение балок, перемычек, плит на опорах.

Фактическая несущая способность обследуемой конструкции Φ с учетом указанных факторов вычисляется по формуле

$$\Phi = N \cdot K_{mc} \quad (\text{VI.3})$$

где N – расчетная несущая способность конструкций определяется в соответствии с указаниями СНиП без учета понижающих факторов подстановкой в соответствующие расчетные формулы фактических значений прочности (марок) материалов, площади сечения кладки бетона, арматуры и т.п.;

K_{mc} – коэффициент технического состояния конструкций, учитывающий снижение несущей способности каменных конструкций при наличии дефектов, трещин, повреждений, при увлажнении материалов и т.п., принимается равным:

- при наличии дефектов производства работ (отсутствие перевязки, пустошовка, большая толщина растворных швов) по таблице VI.1;

Таблица VI.1 [6]

Вид дефекта	K_{mc}
Отсутствие перевязки рядов кладки (тычковых рядов, арматурных сеток, каркасов):	
в 5-6 рядах (40-45 см)	1,0
в 8-9 рядах (60-65 см)	0,9
в 10-11 рядах (75-80 см)	0,75
Отсутствие заполнения раствором вертикальных швов (пустошовка)	0,9
При толщине горизонтальных швов более 2 см (3-4 шва на 1 м высоты кладки):	
при марке раствора шва 75 и более	1,0
то же, 25-50	0,9
то же, менее 25	0,8

- для стен, столбов, простенков при наличии вертикальных трещин, возникающих вследствие перегрузки конструкций постоянными, временными и особыми (случайными) нагрузками (рис. 7), исключая трещины, вызванные действием горизонтальных сил (температурой, усадкой, осадкой фундаментов и т.п.) принимается по таблице VI.2;

Таблица VI.2 [6]

Характер повреждения кладки стен, столбов и простенков	K_{mc} для кладки	
	неармированной	армированной
Трещины в отдельных камнях	1	1
Волосные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки, длиной 15-18 см	0,9	1
То же, при пересечении не более четырех рядов кладки длиной до 30-35 см при количестве трещин не более трех на 1 п. м ширины (толщины) стены, столба или простенка	0,75	0,9
То же, при пересечении не более восьми рядов кладки, длиной до 60-65 см при количестве трещин не более четырех на 1 п. м ширины (толщины) стены, столба и простенка	0,5	0,7
То же, при пересечении более восьми рядов кладки, длиной более 60-65 см (расслоение кладки) при количестве трещин более четырех на 1 п. м ширины стен, столбов и простенков	0	0,5

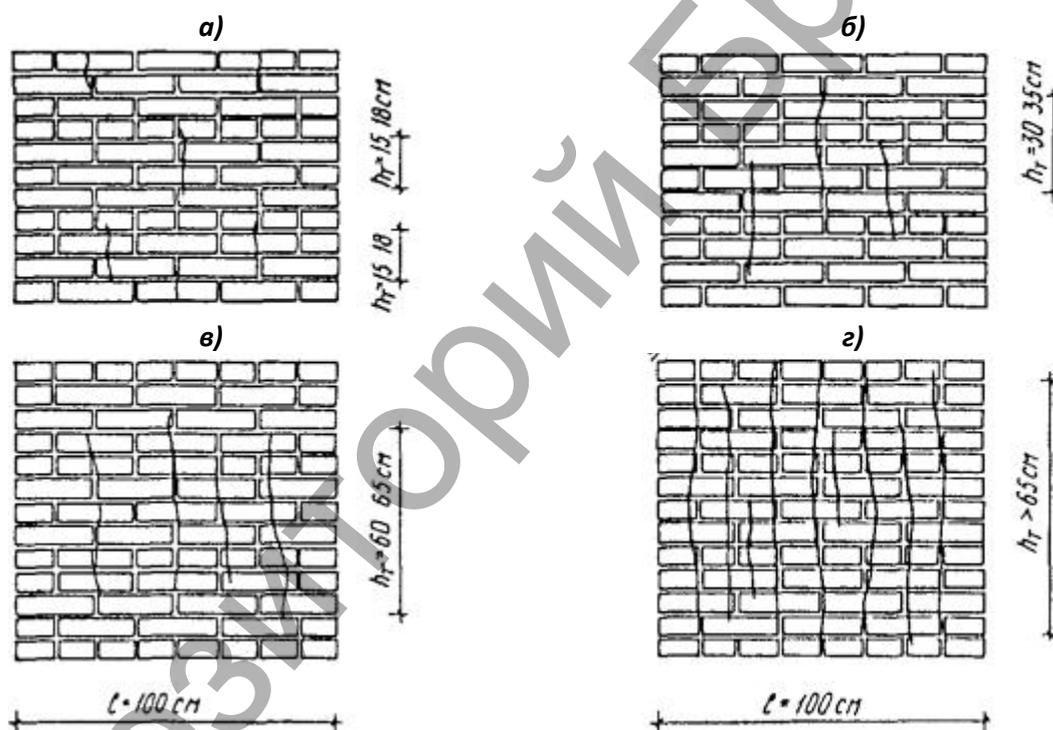


Рисунок VI.7– Степень повреждения вертикальными трещинами каменных и армокаменных конструкций [6]:

а - отдельные трещины длиной 15-18 см; *б* - трещины через 25-30 см длиной 30-35 см; *в* - трещины через 20-25 см длиной 60-65 см; *г* - трещины через 15-20 см длиной более 65 см

- для кладки опор ферм, балок, перемычек, плит при наличии местных повреждений (трещин, сколов, раздробления, рис. VI.8), возникающих при действии вертикальных и горизонтальных сил, принимается по таблице VI. 3;
- для стен, столбов, простенков из красного или силикатного кирпича при огневом воздействии при пожаре принимается по таблице VI. 4;
- для увлажненной и насыщенной водой кладки из красного и силикатного кирпича и камней – $K_{mc} = 0,85$, из природных камней правильной формы из известняка и песчаника – $K_{mc} = 0,8$.

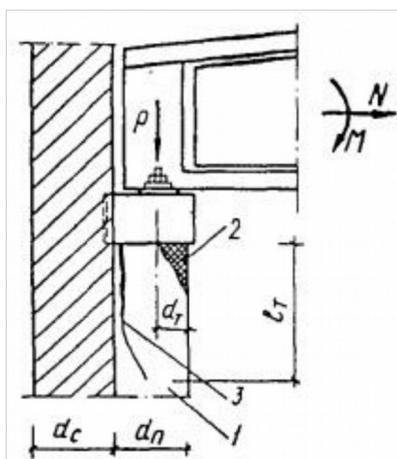


Рисунок VI.8 – Характерные случаи повреждения опорных участков пилястр каменных стен при опирании на них ферм и балок [6]:

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

При определении несущей способности стен и простенков, имеющих вертикальные трещины, возникшие в результате действия горизонтальных растягивающих сил (температурных, осадочных, усадке и т.п.), коэффициент K_{mc} в формуле (VI.3) принимается равным единице. При этом следует учитывать ослабление трещинами расчетного сечения простенков и увеличения продольного изгиба отдельных элементов, выделенных вертикальными трещинами.

Таблице VI. 3 [6]

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

Таблице VI.4 [6]

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

При наличии трещин в местах пересечения стен или при разрыве поперечных связей между стенами, колоннами и перекрытиями несущая способность и устойчивость стен, столбов, колонн и пилонов при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок определяется с учетом фактической свободной высоты стен и столбов между сохранившимися точками закрепления (связями) стен или столбов по вертикали.

При смещении на опорах прогонов, балок, плит перекрытий и покрытий производится проверка несущей способности стен, столбов и пилястр на местное смятие и внецентренное сжатие по фактической величине нагрузки, эксцентриситета и площади опирания на кладку.

При местных просадках фундаментов или разрушении одного или нескольких несущих простенков нижнего этажа оставшаяся часть стены может работать по схеме свода. В этом случае несущая способность сохранившихся простенков или участков стены должна определяться с учетом их перегрузки от веса вышележащих над сводом стен и перекрытий, а также с учетом горизонтального распора, который при этом возникает.

Расчетная площадь сечения конструкций, наружные поверхности которых оказались поврежденными или разрушенными в результате размораживания, коррозии или механического, или огневого воздействия определяется после расчистки и удаления ручным инструментом поврежденных слоев.

Состояние, степень повреждения и необходимость конструктивного усиления каменных, крупноблочных и крупнопанельных конструкций определяются в зависимости от величины снижения (в процентах) несущей способности при наличии дефектов, трещин и повреждений. Основные градации состояний, степень повреждений конструкций и рекомендации по их усилению приводятся в таблице VI.5.

Таблица VI.5 – Степень повреждения конструкций [6]

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

При снижении несущей способности конструкций на 15 % и более вследствие повреждения сечения трещинами, сколами, раздроблением и т.п., усиление конструкций во всех случаях является обязательным независимо от величины действующей нагрузки.

При отсутствии указанных повреждений усиление конструкций требуется в случаях, когда величина действующей нагрузки превосходит их фактическую несущую способность (с учетом пониженной прочности (марки материалов и т.п.).

VII. ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЧАСТЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Общие данные о строении и составе древесины

Древесина, как материал органического происхождения, состоит из ткани, образованной клетками. Клеточная ткань составляет скелет дерева, обеспечивающий его прочность, а также для проведения питательных соков и для накопления питательных веществ. Этим функциям клеточной ткани соответствуют: структурные клетки (прочностные), клетки, проводящие и клетки накапливающие (паренхимные).

Нарастание древесины деревьев умеренного климатического пояса происходит концентрическими слоями относительно сердцевины. На поперечном разрезе ствола этот процесс отражается в виде кольца, называемого годовым слоем. Годовые слои четко видны у многих пород – лиственницы, сосны, дуба и др. Они состоят из двух полос –

светлой и темной. Светлая внутренняя полоса состоит из широкополостных весенних клеток, образующих слабую по прочности раннюю древесину. Наружная темная полоса состоит из клеток с узкими полостями и толстыми стенками, образующими прочную, плотную позднюю древесину.

Живые клетки древесины наполнены влагой, в полостях клеток находится свободная влага, в толще клеточных оболочек, в мельчайших порах между их волоконцами – гигроскопическая влага. При высыхании влага удаляется, оставляя в древесине многочисленные пустоты.

Волокнистость и пористость являются характерными особенностями строения древесины. Строение дерева видно невооруженным глазом на основных сечениях ствола. В центре поперечного сечения находится сердцевина, самая слабая часть древесины по прочности, нестойкая на загнивание. Окружающая сердцевину внутренняя часть ствола многих пород состоит из наиболее прочной, непроницаемой для жидкостей, древесины, прекратившей свои жизненные функции. Эта часть темнее наружной, то она называется ядром (сосна, лиственница, дуб); если же она одного цвета с наружной частью, но отличается от нее пониженной влажностью, то называется спелой древесиной (ель, пихта, бук).

Наружные слои древесины образуют заболонь. Древесина заболони обычно слабее (на 5 - 10%) ядра, более влажная и легче пропитывается жидкостями (например, антисептиками). Породы, у которых наружная и внутренняя части ствола не отличаются по свойствам древесины, называются заболонными (береза, ольха). Заболонь снаружи окружена камбиальным кольцом, состоящим из способных к делению клеток. Камбий откладывает внутрь клетки древесины, а наружу – лубяные клетки и клетки коры.

В течение года при нормальных условиях жизни дерева образуется один годовой слой древесины; по их количеству можно подсчитать возраст дерева. На поперечном сечении ствола некоторых пород заметны радиальные полосы. Это сердцевинные лучи. Они имеются во всех породах дерева, но часто бывают незаметны для простого глаза. Назначение их - хранить питательные вещества и распределять их по толщине дерева. В хвойных породах леса имеются тонкие полости, заполненные смолой, смоляные ходы. Больше всего смоляных ходов имеется в сосне; в лиственных породах они отсутствуют.

Физические свойства древесины

Древесина, в виду особенностей своего строения, обладает различными свойствами в различных направлениях, т.е. является представителем анизотропных строительных материалов. Эти свойства обусловлены резко выраженной волокнистостью материала. При рассмотрении свойств древесины выделяют два главных направления:

- вдоль волокон – совпадающее с продольной осью деревянного элемента;
- поперек волокон – в перпендикулярном к ней направлении.

Направление поперек волокон разделяют на радиальное (по радиусу ствола) и тангентальное (по касательной к годовому слою). В направлении вдоль волокон древесины обладают наибольшими прочностными и упругими свойствами и проявляет наименьшее температурные и усушечные деформации и наоборот.

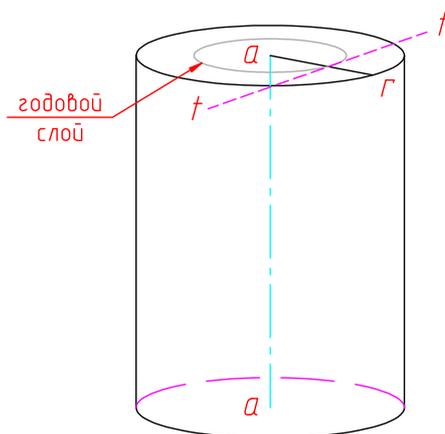


Рисунок VII.1 – Основные направления в древесине

a – направление вдоль волокон; **r** – радиальное направление; **t** – тангентальное направление

Влажность

Влага содержится в древесине в свободном состоянии и в гигроскопическом, коллоидно связанном состоянии. Молекула целлюлозы имеет химически связанные с ней молекулы воды. Все строительные породы леса могут содержать до 30% гигроскопической влаги. Такое содержание влаги называется **точкой насыщения волокон**. Она соответствует полной насыщенности влагой клеточных оболочек при отсутствии свободной влаги в полостях клеток.

По содержанию влаги условно различают состояния древесины:

- воздушносухое с влажностью от 10 до 18%;
- полусухое с влажностью от 18 до 23%;
- сырое с влажностью более 23%.

Процентное содержание влаги (абсолютная влажность) определяется по отношению к весу сухой древесины по формуле:

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \cdot 100\% \quad (VII.1)$$

где G_1 – вес влажного образца;

G_2 – вес того же образца после высушивания при $t = 100-105^\circ$ до постоянного веса.

При высыхании свежесрубленной древесины исчезновение свободной влаги происходит сравнительно быстро – в течение 1-2 летних месяцев. Оно не связано с изменением каких-либо свойств древесины, кроме ее веса. Удаление гигроскопической влаги происходит значительно труднее. Оно требует обычно искусственной сушки древесины и сопровождается значительным изменением ее физико-механических свойств. При удалении гигроскопической влаги механические свойства древесины повышаются. Одновременно происходит усушка сокращение размеров деревянных элементов. Обратный процесс (увлажнение) сопровождается разбуханием древесины и понижением ее механических свойств.

Наибольших размеров усушка достигает в плоскости поперечного сечения элементов (поперек волокон): 6-10% в тангентальном направлении, 3-5% в радиальном направлении при полном высыхании свежесрубленной древесины. В направлении вдоль волокон усушки почти не происходит (0,1%).

Для исключения влияния влажности на показатели свойств древесины, значения их, определяемые из испытаний, приводятся к стандартному содержанию влаги в 15%.

Вследствие этого любые определения свойств древесины должны сопровождаться одновременным определением ее влажности.

Конструкции, защищенные от увлажнения, должны, как правило, изготавливаться из воздушносухого лесоматериала, что обеспечивает их стабильность, то есть устраняет опасность усушки, коробления и растрескивания после возведения и опасность загнивания.

По техническим условиям проектирования деревянных конструкций разрешается применять лесоматериал с влажностью до 25% и выше, если усушка не вызывает расстройств соединений и сильного провисания конструкций; при этом должно быть обеспечено их быстрое просыхание до воздушносухого состояния после изготовления и монтажа.

В свежесрубленной древесине наиболее влажной является – заболонь (до 120%), менее влажным – ядро (до 35%). Так как при высыхании заболонь легче отдает влагу, чем ядро, то в подсушенных на воздухе сортаментах ядро влажнее заболони.

Высыхание древесины происходит преимущественно вдоль волокон. Скорее всего, просыхают торцы элементов. Через боковую поверхность деревянные элементы просыхают труднее. В пиломатериалах просыхание по боковой поверхности происходит скорее, чем в бревнах, благодаря наличию перерезанных пилою волокон древесины.

Неравномерное высыхание древесины и неравномерная усушка ее по направлениям вызывают коробление деревянных элементов и растрескивание их.

Коробление и растрескивание от усыхания тем больше, чем больше плотность древесины и размеры элементов.

Усушка, коробление и растрескивание сильно вредят деревянным конструкциям и даже могут вывести их из строя. Широкие доски, содержащие большое количество [заболони](#), коробятся особенно сильно. При короблении досок их выпуклость всегда направлена к сердцевине бревна. Это обстоятельство нужно учитывать при изготовлении конструкций и располагать доски так, чтобы не вызывать расстройств соединений, повреждение кровли и т. д.

Усушечные трещины имеют радиальное направление. Главная трещина идет по кратчайшему направлению от периметра сечения к центру ствола (сердцевине). В балках прямоугольного сечения главная усушечная трещина располагается обычно на широкой боковой грани балки и совпадает с плоскостью наибольших напряжений сдвига при изгибе. Сильное развитие такой трещины может вызвать расслоение.

Влияние пороков

В элементах деревянных конструкций приходится считаться с неизбежным наличием **пороков** и учитывать их влияние на прочность древесины. Наиболее распространенными пороками являются:

- косошлой;
- сучки;
- трещины.

Невозможно найти лесоматериал без этих пороков. Поэтому древесину необходимо применять с учетом отрицательного влияния допустимого количества пороков, установленного стандартами и техническими условиями.

Косошлой. Выражается в отклонении волокон древесины от направления оси элемента. Чем больше это отклонение, тем меньше прочность древесины. Наибольшее отрицательное влияние косошля на прочность древесины наблюдается при растяжении

вдоль волокон и в растянутой зоне изгибаемых элементов. Здесь допускается косослой в размере не более 10% ($a < 10$ см).

Сучковатость. Наиболее распространенный сильно снижающий качество древесины порок. Вред, причиняемый сучками, зависит от размеров, количества, расположения и состояния их, а также от размеров прилегающей к сучку зоны присучкового косослоя. В наибольшей степени сучковатость понижает прочность растянутых элементов и растянутых частей изгибаемых элементов, в меньшей - сжатых.

Самыми опасными являются сучки, выходящие на кромку или на ребро элемента. Наличие таких сучков сопровождается большим количеством перерезанных волокон в зоне присучкового косослоя, вследствие чего резко снижается несущая способность элемента.

Пиленые сортименты относительно (на 15 - 20%) слабее круглых, не имеющих на своей поверхности перерезанных волокон. Мелкие элементы ослабляются сучками сильнее крупных. Несимметричное положение сучка при осевом сжатии или растяжении вызывает появление изгиба, неучитываемого расчетом.

Трещины. Нарушают цельность древесины, создают опасность расслоения элементов. Наиболее опасными являются трещины по плоскостям скалывания в соединениях. Необходимо учитывать, что при применении недостаточно просушенного леса трещины развиваются в конструкциях после их установки на место; за развитием трещин должен быть установлен тщательный надзор.

Вредное влияние трещин сказывается и в том, что сквозь них внутрь элементов проникают пыль, сырость и споры грибов.

Краткие сведения о гниении древесины

Гниение древесины – биохимический процесс, сопровождающийся ее разрушением. Возбудителем гниения являются грибы. Грибы относятся к простейшим растительным организмам, получающим необходимые для питания органические вещества от других живых или мертвых растений. Наиболее опасными для деревянных конструкций являются грибы, питающиеся и развивающиеся на мертвой, то есть срубленной, древесине. К ним относятся домовые грибы.

Последовательность развития гриба следующая: спора - гифа - мицелий (грибница) - плодовое тело - спора. Заражение древесины происходит двумя путями: спорами, которые при благоприятных условиях температуры и влажности прорастают на древесине, образуя гифы - мицелий, или соприкосновением здоровой древесины с гнилой, на поверхности которой имеется живая грибница. Вследствие этого запрещается хранение здорового лесоматериала с гниющим.

Гифы – это тончайшие нити толщиной до 5 микронов (0,005 мм). Развиваясь, они образуют в толще древесины мицелий, а на поверхности ее грибницу (воздушный мицелий). Из сплетения гиф состоят пленки и шнуры гриба. Шнуры некоторых домовых грибов достигают нескольких метров длины, 5 - 10 мм толщины и более.

Плодовое тело гриба – это плотное скопление мицелия, образующего спороносный слой, на поверхности которого происходит образование спор. Споры в очень больших количествах разносятся ветром, насекомыми и т. п.

Домовые грибы разрушают целлюлозу, то есть основную составную часть клеточных стенок. Такая гниль называется деструктивной. Деструктивную гниль вызывают также биржевые грибы, разрушающие древесину на складах. Лесные грибы, разрушающие живую древесину на корню, в основном вызывают коррозионную гниль, при которой разрушению подвергается лигнин.

Гниение древесины, вызываемое домовыми грибами, состоит из двух этапов. На первом этапе целлюлоза, присоединяя к себе под влиянием ферментов гриба молекулу воды, превращается в глюкозу. На втором этапе глюкоза в процессе жизнедеятельности гриба окисляется и превращается в углекислоту и воду. Таким образом, гниение древесины сопровождается на первом этапе потреблением воды, а на втором – ее выделением и увлажнением гниющей древесины. Происходит постепенное разрушение клеточной ткани, древесина теряет в весе, в ней появляются продольные и поперечные трещины разной величины, в результате чего она распадается на кусочки в виде кубиков или призмочек, или расслаивается по годовым слоям. Разрушение идет до полной потери прочности древесины.

К домовым грибам относятся: настоящий домовый гриб, белый домовый гриб, коричневый домовый гриб и др. Эти грибы поражают древесину как хвойных, так и лиственных пород преимущественно в сооружениях и зданиях, но встречаются и на складах. Древесина, пораженная этими грибами, чаще всего изменяет свой цвет на коричневый или бурый, покрывается сетью продольных и поперечных трещин.

К биржевым грибам, преимущественно разрушающим уложенный в штабеля круглый лес, относится столбовой гриб. Он встречается также в открытых сооружениях, на столбах и сваях из круглого, леса. Гриб обычно развивается внутри древесины, проникая в нее через усушечные трещины.

Наиболее благоприятными условиями для развития дереворазрушающих грибов являются:

- влажность древесины, для различных грибов колеблющаяся в пределах от 20 до 70%;
- температура - от 15 до 35°;
- наличие кислорода, без которого гриб не растет (например, под водой).

Изменяя эти условия, можно предотвратить загнивание древесины. Замораживание останавливает развитие гриба, но не убивает его. Нагрев до 80° убивает грибницу, а при температуре выше 120° погибают споры; однако этим не предотвращается последующее заражение древесины.

Основным средством в борьбе с гниением древесины является сохранение ее влажности в пределах воздушносухого состояния (не выше 18%), то есть борьба с увлажнением древесины, если она сухая, и борьба за просушку древесины, если она влажная.

Увлажнение может быть:

- **непосредственное** – то есть капельно-жидкой влагой (атмосферной эксплуатационной, бытовой);
- **биологическое** – происходящее в процессе жизнедеятельности гриба;
- **капиллярное** – путем засасывания влаги из грунта или из каменной кладки;
- **конденсационное** – при осаждении влаги из паров окружающего воздуха на материалы, имеющие температуру ниже «точки росы» этих паров. Конденсационное увлажнение происходит при наличии температурного перепада в толще стен и покрытий, внутри конструкций и на их поверхности. Конденсация влаги, происходящая непрерывно длительное время, называется *систематической*. Конденсация временная, но многократно повторяющаяся, связанная с сезонными и суточными колебаниями температуры, называется *дифференциальной*. К первому виду относится конденсация влаги зимой в плохо утепленных стенах и покрытиях отапливаемых зданий. Ко второму виду -

осаждение росы или инея на охлажденных поверхностях массивных частей зданий при потеплении наружного воздуха.

Защиту от загнивания древесины осуществляют прежде всего **конструктивными** способами. Если они не могут быть достаточными, то прибегают к **химическим** способам защиты – антисептированию.

Конструктивная защита от гниения направлена на обеспечение воздушносухого состояния деревянных конструкций во все время их эксплуатации, а также на скорейшее просыхание их при случайном увлажнении или при изготовлении из недостаточно просушенного леса. Конструктивная защита должна применяться во всех случаях, независимо от срока службы здания или сооружения.

Конструктивные меры защиты предусматривают:

- предохранение древесины от непосредственного увлажнения грунтовой, эксплуатационной или атмосферной влагой;
- обеспечение достаточной термоизоляции (с холодной стороны), а в необходимых случаях и пароизоляции (с теплой стороны) стен, покрытий и других ограждающих частей отапливаемых зданий во избежание их переохлаждения, промерзания и возникающего от этого конденсационного увлажнения древесины;
- обеспечение систематической просушки древесины в закрытых частях зданий и во внутренних полостях ограждений путем создания в них осушающего температурно-влажностного режима.

Антисептическая (химическая) обработка элементов деревянных конструкций производится в следующих случаях:

- когда конструктивными мерами нельзя предотвратить их длительное или периодическое увлажнение;
- при повышенной начальной влажности древесины или соприкасающихся с ней материалов и заполнителей, когда просыхание их в зданиях и сооружениях происходит замедленно;
- при ремонтных и восстановительных работах в зданиях и сооружениях, в которых обнаружено развитие дереворазрушающих грибов или насекомых.

Способы антисептирования отдельных элементов выбираются в зависимости от рода сооружения, вида конструкций состояния влажности древесины и пр. В ТКП 45-5.05-146-2009(02250) и ТКП 45-2.01-111-2008 (02250) «Защита строительных конструкций от коррозии. Строительные нормы проектирования» указаны следующие **способы антисептической обработки деревянных элементов:**

- пропитка под давлением;
- пропитка в горяче-холодных ваннах;
- пропитка в высокотемпературных ваннах;
- покрытие антисептическими пастами;
- сухое антисептирование и поверхностное антисептирование.

Антисептиками служат химические вещества отравляющие споры и гифы грибов как на поверхности древесины так и в ее толще.

Энтомологические разрушители древесины и меры борьбы с ними

Древесина в конструкциях разрушается различными видами насекомых преимущественно жуками. Главнейшими разрушителями являются жуки-точильщики, усачи и термиты. При размножении жуки проходят сложный цикл развития: яйцо – личинка – куколка – взрослое насекомое. Длительность этого цикла различна – от нескольких дней до нескольких лет. На морозе развитие приостанавливается. Прогрев во

влажной камере при температуре 80° вызывает гибель жуков и дает полную стерилизацию материала.

Основной вред наносят не сами жуки, а их личинки, которые прогрызают в древесине многочисленные ходы и превращают ее в труху. Исключение составляет долгоносик-трухляк, жуки которого сами разрушают древесину. Некоторые жуки-точильщики развиваются внутри древесины без вылета из нее до полного разрушения деревянных элементов.

Меры борьбы с дереворазрушающими насекомыми разделяются на профилактические и истребительные.

К профилактическим мерам относятся:

- уборка остатков лесоматериала на лесосеках, складах, биржах;
- хранение леса под водой;
- быстрое окоривание лесоматериала при сухом его хранении;
- тщательный отбор древесины на деревянные конструкции и запрещение пользоваться зараженной вредителями древесиной;
- пропитка или смазка строительных деталей или поделочного леса специальными жидкостями (все маслянистые антисептические составы при глубокой пропитке защищают древесину и от разрушающих насекомых).

К наиболее эффективным **истребительным мерам** борьбы относятся химические мероприятия:

- пропитка древесины ядовитыми для насекомых веществами способом горяче-холодных ванн и другими;
- вспыскивание ядовитых жидкостей в летные отверстия в начальной стадии заражения древесины.

Общие положения обследования деревянных конструкций [4]

Обследование деревянных частей зданий и сооружений следует проводить в комплексе с обследованием всех строительных конструкций в составе объекта.

Основными признаками, характеризующими техническое состояние деревянных частей зданий и сооружений, являются:

- разрушения любого характера, потеря устойчивости формы или положения;
- нарушение геометрической неизменяемости;
- наличие и количественные характеристики механических, биологических, энтомологических, коррозионных и других повреждений, полученных элементами деревянных конструкций в процессе эксплуатации;
- деформации конструкций в результате прогибов, сдвига в соединениях;
- температурно-влажностные условия эксплуатации деревянных конструкций;
- влажность элементов деревянных конструкций;
- количественные характеристики внешних воздействий на деревянные части зданий и схемы их приложения.

Методика обследования деревянных частей зданий и сооружений [4]

При обследовании деревянных частей зданий и сооружений собираются данные по всему объекту, по его несущим и ограждающим конструкциям, по прочностным и физико-механическим характеристикам материалов, по условиям эксплуатации объекта.

Обследование деревянных частей зданий и сооружений следует проводить визуальным и инструментальными методами. При этом следует:

- выявлять участки деревянных частей объекта с видимыми повреждениями – разрушением, потерей устойчивости и прогибами, раскрытием трещин в деревянных элементах; раскрытием трещин в защитных или декоративных покрытиях деревянных частей объекта, биоэнтомологическим, огневым, коррозионным поражениями;
- выявлять участки деревянных частей объекта с недопустимыми атмосферными, конденсационными и техническими увлажнениями, мостиками холода;
- определять схемы и параметры внешних воздействий на деревянные части объекта, в т.ч. фактически действующие постоянные и временные нагрузки с учетом собственного веса материалов, конструктивных и технологических особенностей объекта;
- определять расчетные схемы и геометрические размеры – пролеты, сечения, условия опирания и закрепления деревянных конструкций и элементов;
- определять пространственную устойчивость объекта, в т.ч. его деревянных частей;
- определять конструкцию и состояние узловых сопряжений деревянных элементов;
- определять степень биоэнтомологического, огневого, коррозионного поражения конструктивных элементов деревянных частей объекта;
- определять фактические прогибы, деформации, перемещения деревянных частей объекта, отдельных элементов в составе конструкций и узловых сопряжений;
- определять прочностные и физико-механические характеристики материалов;
- определять температурно-влажностный режим эксплуатации конструкций;
- определять химическую и др. агрессивность среды эксплуатации деревянных конструкций;
- определять наличие и состояние защитной обработки деревянных частей объекта;
- определять соответствие объекта и его деревянных частей требованиям пожарной безопасности;
- при наличии проекта определять соответствие деревянных частей объекта проектным требованиям.

При проведении обследования необходимо составлять ведомости обнаруженных дефектов по частям объекта, выполнять обмерочные чертежи объекта и конструкций в составе его частей с указанием дефектных участков, мест вскрытий и мест взятия проб материалов. Так же следует выполнять фотографирование характерных примеров дефектного состояния конструкций.

Для определения фактического состава и состояния деревянных частей объекта следует производить выборочные вскрытия. Места расположения вскрытий следует выбирать на участках с видимыми повреждениями деревянных частей объекта.

При обследовании узловых сопряжений следует:

- определять тип и схему соединения;
- определять фактическую схему передачи действующих усилий;
- определять геометрические параметры соединительных и соединяемых элементов;
- определять расстановку соединительных элементов (гвоздей, нагелей и т.п.);
- определять положение соединительных элементов по отношению к усушенным трещинам в деревянных элементах;
- определять размеры и состояние рабочих узловых сопряжения, в т.ч. целостность элементов и плотность соединений, зазоры и эксцентриситеты.

Повреждения деревянных частей зданий и сооружений

Признаками разрушения деревянных элементов являются:

- при сжатии вдоль волокон, сжатии с изгибом – образование складки разрушения волокон древесины в сжатой зоне;
- при изгибе – разрушение растянутой зоны по древесине присучкового слоя (для цельной древесины), по древесине зубчатого стыка (для клееной древесины) в области действия максимального изгибающего момента; раскрытие сквозных трещин в древесине близ нейтральной оси в опорной зоне элемента;
- при растяжении – разрушение древесины с образованием зацепистой поверхности, проходящей через сечения, ослабленные зубчатыми стыками, сучками, пазами, врезками, отверстиями и т.п.;
- при смятии под углом к волокнам всех видов – значительные деформации площадки смятия;
- при скалывании вдоль волокон – раскрытие сквозной трещины или разрушение деревянного элемента по площадке скалывания.

Признаками разрушения соединений деревянных конструкций являются:

- разрушение соединяемых или соединительных элементов, например, по площадкам скалывания;
- утрата соединением плотности при ослаблении стяжных болтов;
- получение соединением деформаций, превышающих допустимые значения, указанные в [25]. Для соединений на наклонных стержнях без применения клея в составных изгибаемых элемента предельные деформации составляют 4 мм;
- расслаивание клееных элементов по клеевым швам.

При фиксации повреждений указывать:

- характеристику повреждений деревянных частей объекта;
- конструкции, в которых повреждения обнаружены;
- местоположение повреждений на конструкциях;
- количественные характеристики повреждений (значения прогибов, глубину и длину раскрытия трещин, положение и ориентацию сквозных трещин в деревянных элементах, глубину и размеры участка биологического или огневого поражения деревянных элементов, степень коррозионного поражения деревянных и стальных элементов конструкций).

Признаками биологического поражения (гниения) деревянных частей зданий и сооружений являются:

- наличие грибницы на поверхности и (или) в толще деревянных элементов;
- изменение цвета (побурение) древесины;
- деструкция – потеря прочности, наличие комплекса продольных и поперечных трещин, изменение анизотропной структуры древесины на трещиноватую призматическую. При этом древесина легко разламывается на части и растирается в порошок;
- глухой звук при простукивании массивных деревянных элементов.

Признаками энтомологического поражения (уничтожения насекомыми) деревянных частей зданий являются:

- наличие в деревянных элементах совокупности ходов и летных отверстий диаметром 0,5-7 мм. Отверстия могут иметь круглую или овальную форму;
- наличие буровой муки в зоне поврежденных элементов;
- глухой звук при простукивании массивных деревянных элементов;
- шум в деревянных конструкциях в весенне-летний период.

Оценка технического состояния деревянных частей зданий и сооружений

Древесина для несущих и ограждающих элементов деревянных конструкций должна соответствовать указаниям [25], а так же удовлетворять требованиям 1, 2 и 3 сорта [28-31] на пиломатериалы и круглые лесоматериалы хвойных и лиственных пород. Влажность деревянных элементов должна соответствовать указаниям (см. табл. 6.1 [25]).

Прочностные характеристики древесины, определенные в соответствии с требованиями (см. Приложения А [25]).

При расчете элементов деревянных конструкций и соединений по предельным состояниям первой группы должны выполняться требования действующих норм проектирования (см. раздел 7 [25]). Расстановка соединительных элементов в соединениях деревянных конструкций так же должна соответствовать указаниям раздела 9 [25].

При расчете элементов деревянных конструкций по предельным состояниям второй группы прогибы конструкций не должны превышать допустимых значений, представленных в [32].

На основании выполненного обследования делается заключение о пригодности деревянных частей зданий и сооружений к дальнейшей эксплуатации, а также вырабатываются предложения по усилению конструкций и мероприятия по их защите от биологического и энтомологического поражения, пожарной опасности и коррозии.

VIII. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ [4]

Теплотехнические требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям зданий, регламентируются ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» и зависят от вида ограждения (стена, покрытие и др.), нормируемых параметров производственной среды (микроклимата), климатических условий района и функционального назначения здания.

Целью теплотехнических обследований ограждающих конструкций является выявление их фактических теплозащитных качеств и их соответствия современным нормативным требованиям, которые в последние годы существенно изменились в связи с проблемой экономии и рационального использования энергетических ресурсов.

Теплотехнические качества ограждающих конструкций характеризуются:

- сопротивлением теплопередаче – R_o , $m^2 \times ^\circ C / Вт$;
- сопротивлением паропрооницанию - R_n , $m^2 \times ч \times Па / мг$;
- сопротивлением воздухопроницанию - $R_{воз}$, $m^2 \times ч / кг$;
- тепловой активности (теплоусвоения) (для полов в помещениях с длительным пребыванием людей).

Основной задачей определения теплотехнических качеств ограждающих конструкций является: определение температурного поля на внутренних поверхностях ограждающих конструкций; на участках теплопроводных включений, узлов примыканий внутренних и наружных стен, стыковых соединений с целью выявления зон с пониженной температурой, где возможно образование конденсата на поверхности конструкций, установление характера изменения температурного поля и выявление степени теплотехнической неоднородности конструкций;

определение термического сопротивления конструкций R_k , $m^2 \times ^\circ C / Вт$; определение динамики влажностного режима конструкций в разные сезоны года, установление зоны конденсации влаги и степени влагонакопления в холодный период года, определение влажностного состояния стыковых соединений; обследование воздухопроницаемости стеновых конструкций, стыковых соединений и светопрозрачных конструкций.

При обследованиях гражданских и производственных зданий в зависимости от рассматриваемых задач производятся измерения температур газовых и жидкостных сред, сыпучих и твердых тел. Диапазон измерения температур от минус 70 до +1600 °С.

Для измерений используются контактные и бесконтактные термометры. К контактными относятся:

- жидкостные и биометаллические термометры;
- электрические и полупроводниковые термометры сопротивления;
- термопары.

К бесконтактным термометрам относятся:

- инфракрасные термометры;
- пиранометры
- тепловизоры.

Тепловизионное обследование (контроль) – это тепловизионная диагностика зданий и сооружений в инфракрасном спектре с длиной волн 8-14 мкм, построение температурной карты поверхности обследуемых объектов. На сегодняшний день тепловизионное обследование является передовым направлением неразрушающего тепловизионного контроля ограждающих конструкций. Тепловизионное обследование это наиболее эффективный способ выявления дефектов теплоизоляции. Тепловизионное обследование ограждающих конструкций зданий и сооружений проводится согласно [33].



Рисунок VIII.1 – Тепловизионное обследование

Метод тепловизионного обследования основан на дистанционном измерении тепловизором температурных полей поверхности ограждающих конструкций зданий и сооружений, между наружными и внутренними поверхностями которых создан перепад температур, и определение относительных сопротивлений теплопередаче обследуемых участков конструкций, значения которых, вместе с температурой внутренней поверхности, принимают за показатели качества теплозащитных свойств.

Преимущества тепловизионного обследования:

- неразрушающий метод обследования. Для выполнения тепловизионной съемки не требуется демонтировать элементы конструкций или отделку поверхностей ограждающих конструкций;

- наглядность – для понимания термограмм не требуется никакой специальной подготовки;
- оперативность – вся информация о температурном поле обследуемой поверхности отображает в реальном времени на дисплее тепловизора;
- точность – у любого скрытого дефекта существует тепловое проявление, которое будет выявлено.

Теплозащитные качества ограждающих конструкций характеризуются приведенным сопротивлением теплопередаче R_0 и термическим сопротивлением R_k . Их экспериментальное определение основывается на принципе стационарного режима теплопередачи, при котором тепловой поток, проходящий через любое сечение конструкции, перпендикулярное потоку, постоянен.

В этом случае имеет место равенство:

$$q = \frac{(t_в - t_н)}{R_0} = \frac{(t_в - \tau_в)}{R_в} = \frac{(\tau_н - t_н)}{R_н} \quad (VIII.1)$$

$$R_в = \frac{1}{\alpha_в}, \quad R_н = \frac{1}{\alpha_н}, \quad R_0 = R_в + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_н \quad (VIII.2)$$

q – тепловой поток, Вт/м²;

$\alpha_в$ – коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждения, Вт/(м² × °С);

$\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, Вт/(м² × °С);

$R_в$ – сопротивление тепловосприятию внутренней поверхности ограждения, м² × °С/Вт;

$R_н$ – сопротивление теплоотдачи наружной поверхности ограждения, м² × °С/Вт;

$\tau_в$ – температура внутренней поверхности, °С;

$\tau_н$ – температура наружной поверхности, °С;

$t_н$ и $t_в$ – температура соответственно наружного и внутреннего воздуха;

Схема размещения датчиков термопар при измерении температур в толще многослойного ограждения показана на рисунке VIII.1.

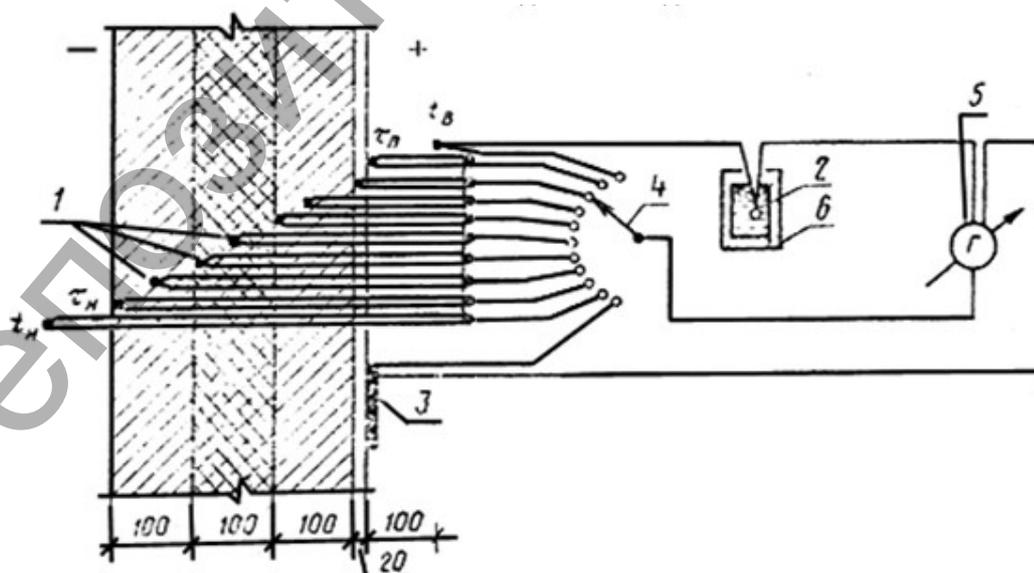


Рисунок VIII.1 – Схема размещения датчиков термопар при измерении температур в толще многослойного ограждения [4]

- 1 - рабочие спаи термопар; 2 - холодный спай термопар; 3 - преобразователь теплового потока; 4 - многоточечный переключатель; 5 - измерительный прибор; 6 - термостат (сосуд Дьюара)

Измеряя величину теплового потока q_1 , разность температур внутреннего и наружного воздуха Δt разность температур внутренней и наружной поверхности ограждения $\Delta \tau$ определяем термическое сопротивление конструкции

$$R_k = \frac{\Delta \tau}{q_1} - R' \frac{\Delta \tau}{\Delta t}, \quad (\text{VIII.3})$$

где Δt – разность температур внутреннего и наружного воздуха, °С;

$\Delta \tau$ – разность температур внутренней и наружной поверхностей ограждения, °С;

q_1 – замеренный тепловой поток, Вт/м²×°С;

R' – термическое сопротивление тепломера, м²×°С /Вт.

Тепловой поток, замеренный тепломером q_1 , несколько отличается от действительного теплового потока q , проходящего через ограждающую конструкцию, так как тепломер является добавочным сопротивлением к исследуемому ограждению и, следовательно, замеренный тепловой поток оказывается несколько меньше действительного потока.

Величина истинного теплового потока в этом случае определяется из соотношения

$$q = \frac{\Delta \tau}{R_k}, \quad (\text{VIII.4})$$

Сопротивления теплоотдаче R_n и тепловосприятию R_e в определяются по формулам

$$R_e = \frac{t_e - \tau_e}{q}, \quad R_n = \frac{\tau_n - t_n}{q}, \quad (\text{VIII.5})$$

Сопротивление теплопередаче конструкций

$$R_0 = \frac{t_e - t_n}{q}, \quad (\text{VIII.6})$$

При экспериментальном определении величин R_0 и R_k конструкции с тепловой инерцией D более 1,5 и при явно выраженном нестационарном режиме теплопередачи необходимо учитывать изменения теплосодержания ограждения в период проведения обследования.

При достаточной продолжительности натурных наблюдений (в пределах до 14 дней) влияние изменения теплосодержания ограждения сводится к минимуму, поскольку в этом случае температурная кривая наружного воздуха, как правило, охватывает несколько волн. Следует отметить, что изложенный метод определения теплозащитных качеств ограждений относится к зимним условиям. В летних условиях среднесуточная температура внутреннего и наружного воздуха отличается незначительно и величины сквозных тепловых потоков ничтожно малы

Определение влажностного состояния ограждающих конструкций [4]

Одним из важных эксплуатационных показателей ограждающих конструкции является их влажностное состояние.

Увлажнение ограждающих конструкций приводит к ухудшению их теплозащитных качеств, созданию благоприятных условий для развития в них грибков, плесени и прочих биологических процессов, а также к снижению их долговечности.

При обследовании влажностного состояния ограждающих конструкций следует установить причины их увлажнения. В общем случае можно отметить следующие причины:

1. Строительная влага, которая вносится в конструкцию при ее производстве и возведении.
2. Грунтовая влага, которая может проникнуть в ограждение из грунта вследствие капиллярного всасывания. В стенах здания эта влага может подниматься до высоты 2-2,5 м от уровня земли. Для предохранения ограждения от увлажнения в нем устраиваются гидроизоляционные слои, препятствующие доступу влаги из грунта в ограждение.
3. Метеорологическая влага, которая может проникнуть в конструкцию в связи с выпадением атмосферных осадков.
4. Эксплуатационная влага, выделение которой связано с эксплуатационными характеристиками и(или) технологическим процессом в производственных зданиях.
5. Гигроскопическая влага, накапливаемая в конструкции вследствие свойства гигроскопичности материала.
6. Конденсация влаги из воздуха, что тесно связано с теплотехническим качеством и тепловым режимом ограждающей конструкции. В подавляющем большинстве случаев конденсация влаги является единственной причиной повышения влажности ограждающих конструкций. Конденсация влаги может происходить как на поверхности ограждения, так и в его толще. Следует отметить, что отсутствие конденсации влаги на поверхности ограждения не гарантирует ограждение от увлажнения, так как оно может происходить вследствие конденсации водяных паров в толще самого ограждения.

Обеспечение нормального влажностного состояния ограждающих конструкций достигается путем устройства слоя пароизоляции. Требуемое сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций определяется расчетом по методике, изложенной в [27].

При натурных обследованиях определение влажности материалов в зависимости от требуемой точности производится различными способами. Наиболее простым и достоверным способом является извлечение из конструкции при помощи шлямбуров пробы материала, помещаемой затем в специальные бюксы. Влажная проба материала непосредственно после извлечения из конструкции взвешивается, а затем высушивается нагреванием в сушильных шкафах до постоянного веса и снова взвешивается.

Массовая (весовая) влажность – W_B , %, определяется по формуле:

$$W_B = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \cdot 100\% \quad , \quad (\text{VIII.7})$$

где P_1 и P_2 – масса (вес) пробы соответственно до и после высушивания.

При известной плотности материала γ , кг/м³, объемная влажность $W_{об}$ вычисляется по формуле:

$$W_{об} = \frac{W_g \cdot \gamma}{1000} \quad , \quad (\text{VIII.8})$$

Сушка отобранных проб производится в термостатах или сушильных шкафах, где температура поддерживается на уровне 105 °С для всех материалов, за исключением органических и гипсовых, для которых температура сушки должна быть не выше 60-70 °С.

При взвешивании проб на аналитических весах навеску следует брать весом не менее 2 г, а взвешивание производить с точностью до 0,001 г; при взвешивании на технических весах все навески должны быть не менее 10 г при точности взвешивания до 0,01 г.

После извлечения из конструкций материала пробы немедленно помещают в бюксы и плотно закрывают крышкой во избежание их усушки до первого взвешивания. В зимнее время пробы в бюксы укладывают на холоде и закрывают плотно крышкой, так как в теплом помещении на них образуется конденсат. Края крышек бюксов смазывают жиром, самоклеющей лентой или другим паронепроницаемым материалом.

В настоящее время разработан диэлектromетрический метод определения влажности строительных материалов, изделий и конструкций. Он основан на корреляционной зависимости диэлектрической проницаемости материала от содержания влаги в нем при положительных температурах. Измерение влажности производят при помощи электронного влагомера ВСКМ-12 или других диэлектromетрических влагомеров, отвечающих требованиям ГОСТ 21718-84.

Количество и порядок отбора проб для различных материалов ограждающих конструкций изложен в п.10.6 [4].

10.6.13. Результаты измерений влажности сопоставляют с требованиями приведенными в таблице VIII.1 и на этой основе производят оценку влажностного состояния ограждающих конструкций.

Таблица VIII.1 [4] Нормальная влажность некоторых материалов в наружных ограждающих конструкциях

№	Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Влажность материала, %	
			массовая	объемная
1.	Красный кирпич в сплошных стенах	1800	1,5	2,7
2.	Кирпич красный в стенах с воздушной прослойкой	1800	0,5	0,9
3.	Кирпич силикатный	1900	2,5	4,8
4.	Бетон тяжелый	2000	1,5	3
5.	Шлакобетон	1300	3	3,9
6.	Керамзитобетон	1000	6	6
7.	Пенобетон в наружных стенах	700	10	7
8.	Пеностекло	350	3	1,1
9.	Штукатурка известково-песчаная	1600	1	1,6
10.	Шпак топливный в засыпке	750	3,5	2,6
11.	Минераловатные плиты	200	2	0,4
12.	Дерево (сосна)	500	15	7,5
13.	Фибролит цементный	350	15	5,2
14.	Торфоплиты	225	20	4,5
15.	Пенополистирол	25	5	0,12

Определение воздухопроницаемости ограждающих конструкций

Свойство ограждения или материала пропускать воздух называется **воздухопроницаемостью**. При разности давлений воздуха с одной и с другой стороны ограждения через ограждение может проникать воздух в направлении от большего

давления к меньшему. В зимних условиях в отапливаемых помещениях температура внутреннего воздуха существенно выше наружного воздуха, что обуславливает разность их объемных масс, в результате чего и создается разность давлений воздуха с обеих сторон ограждения. Разность давлений воздуха может возникнуть также под влиянием ветрового напора.

Если фильтрация происходит в направлении от наружного воздуха в помещение, то она называется **инфильтрацией**, при обратном направлении – **эксфильтрацией**. С теплотехнической точки зрения воздухопроницаемость ограждения является отрицательным явлением, так как в зимнее время инфильтрация холодного воздуха вызывает дополнительные потери тепла ограждениями и охлаждение помещений, а эксфильтрация может неблагоприятно отразиться на влажностном режиме конструкций ограждений, способствуя конденсации в них влаги. Методика расчета и требуемое нормативное сопротивление воздуха прониканию ограждающих конструкций регламентируются ТКП 45-2.04-43-2006 [27].

Современные методы экспериментального определения воздухопроницаемости материалов и конструкций основаны на том, что в результате искусственно создаваемого избыточного давления или разрежения через образец материала или конструкции, заключенного в особую обойму, проходит воздушный поток, замеряемый счетчиком, в то же время замеряется избыточное давление или разрежение, поддерживаемое в продолжение испытаний на определенном уровне. Эта задача технически решается с помощью испытательного оборудования, называемого **Аэродверь (BlowerDoor)**. Регламент работ может зависеть от типа здания, объема испытаний и поставленной задачи. Для большинства строительных объектов тест с помощью аэродвери решает следующие типовые задачи:

1. **Измерение герметичности здания:** насколько герметичны ограждающие конструкции, какова кратность воздухообмена, является ли воздухообмен завышенным или недостаточным, насколько велики теплотери из-за сверхнормативной вентиляции; требуются ли изменения в системе вентиляции.
2. **Обнаружение скрытых дефектов:** локализация мест присоса холодного воздуха и выхода теплого воздуха наружу, каковы размеры скрытых дефектов, как выявленные нарушения влияют на микроклимат отдельных помещений, составление карты дефектов объекта, оценка объема ремонтных работ.

Аэродверь — специализированный манометрический течеискатель, предназначенный для проведения натуральных испытаний воздухопроницаемости ограждающих конструкций здания, измерения кратности воздухообмена здания, а также для оценки герметичности отдельных помещений или секций здания [21].

Аэродверь состоит из трех основных компонентов:

- съемной тканевой или пластиковой дверной панели, устанавливаемой в проем входной двери тестируемого здания, с отверстием для вентилятора;
- калиброванного измерительного [вентилятора](#) (или нескольких вентиляторов), способного обеспечить воздушный поток в интервале от единиц до десятков тысяч кубических метров в час;
- дифференциального манометра, осуществляющего измерение давления в различных точках как внутри здания, так и вне его, и управляющего работой вентилятора в режиме реального времени.

Вентилятор аэродвери устанавливают в проем входной двери здания с помощью съемной дверной панели. Все наружные двери и окна закрывают, все двери внутри здания открывают. Отключают все виды газового оборудования и другие системы,

работоспособность которых чувствительна к перепадам атмосферного давления. Вентиляция, вытяжки и другие штатные открытия герметизируют. Измеряют атмосферное давление внутри и снаружи здания. Включают вентилятор в режиме нагнетания воздуха внутрь здания или в режиме создания разрежения — в зависимости от целей теста. Изменяя вентилятором скорость и направление потока воздуха, выполняют серию измерений следующих параметров:

- объем воздуха, проходящего через вентилятор;
- атмосферное давление внутри здания;
- атмосферное давление снаружи здания;
- атмосферное давление на кожухе двигателя вентилятора.

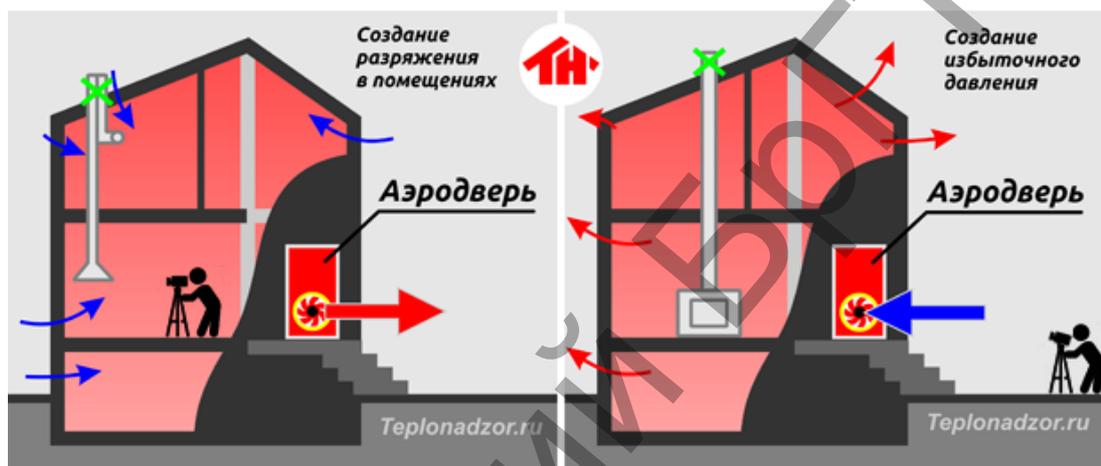


Рисунок VIII.2 – Экспериментальное определение воздухопроницаемости с помощью аэродвери (BlowerDoor)[35]

Описанный способ [неразрушающего контроля](#) по физическому процессу, положенному в его основу, относится к течеисканию (неразрушающий контроль проникающими веществами), а по первичному информационному параметру - к газовому методу.

Результаты испытаний сравнивают с данными таблицы VIII.2, и на этой основе дают оценку воздухопроницаемости ограждающих конструкций. В таблице VIII.2, приведены нормируемые значения воздухопроницаемости G^H , кг/(м²·ч) ограждающих конструкций зданий и сооружений.

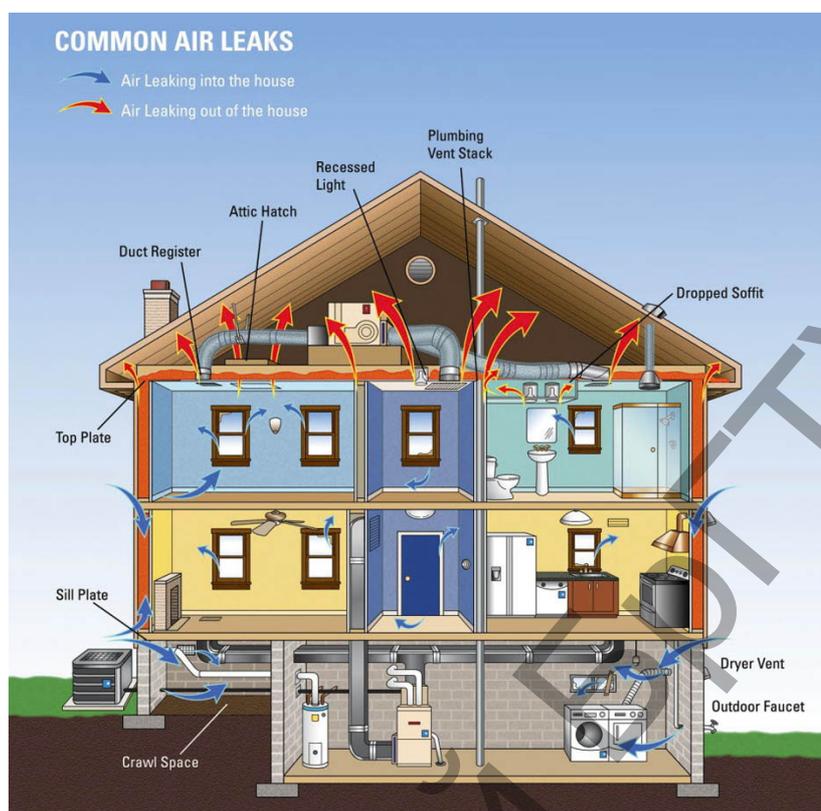


Рисунок VIII.3 – Фильтрация в жилом доме [35]

Таблица VIII.2 – Нормативная воздухопроницаемость G_n ограждающих конструкций зданий и сооружений

Вид ограждающей конструкции	G_n , кг/(м ² ×ч), не более
1. Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных зданий и сооружений	
2. Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	
3. Стыки между панелями наружных стен:	
– жилых зданий	0,5
– производственных зданий	1,0
4. Входные двери в квартиры	2
5. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий, окна производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
6. Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
7. Зенитные фонари производственных зданий	10,0

IX. СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ТКП/ОР 45-5.03-...200 (02250) «Общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций и оснований»
2. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций/ пер. с нем. О.О. Андреева. – М., «Строиздат», 1994 – 288с. – перевод. изд.: Gerhard Spaethe – Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen.
3. ТКП 45-1.04-208-2010 (02250) Здания и сооружения. Техническое состояние и обслуживание строительных конструкций и инженерных систем и оценка их пригодности к эксплуатации – Изд-во Минстройархитектуры, 2011 – 23 с.
4. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. – М. ОА «ЦНИИПромзданий» – 2004 – 116с.
5. Технические измерения и приборы. Учебное пособие / Н.В. Чистофорова. – Ангарск, АГТА, 2008. – 200с.
6. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий – М.: Стройизд, 1988 – 62 с.
7. Диагностика и испытание строительных конструкций. Метод. указания / Ю.К. Басов, И.В. Грицишен. – М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2009 – 35с.
8. ГОСТ 22690 -88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1991 – 20 с.
9. ТКП 45-5.04-49-2007 Конструкции стальные. Обследование и диагностика технического состояния – Мн.: РУП «Стройтехнорм», 2008 – 129с.
10. СНиП III-18-75 "Металлические конструкции. Правила производства и приемки работ"
11. ГОСТ 9454-78 "Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах."
12. ГОСТ 1497-84 "Металлы. Методы испытания на растяжение"
13. ГОСТ 9454-78 "Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах"
14. ГОСТ 380-94 "Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки"
15. ОРД 00 000 89 Техническая эксплуатация стальных конструкций производственных зданий – К.: Укрниипроектстальконструкция, 1989 – 114с.
16. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций: Учеб. Пособие – М.: Изд-во АСВ, 2001 – 176с.
17. Коррозия и защита арматуры в бетоне / С.Н. Алексеев. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, Стройиздат, 1968. – 225с.
18. Обследование и испытание зданий и сооружений. Учебное пособие / В.Г. Козачек и др. – М.: Высшая школа, 2004 – 447с.
19. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. - Л.: Стройиздат, 1975
20. Васильев Н.М. Влияние нефтепродуктов на прочность бетона // Бетон и железобетон. - 1981. - №3. - С. 36 – 37
21. <http://ru.wikipedia.org>
22. СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии – М.:Стройиздат, 1986
23. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений – М.:Стройиздат, 1989 – 104с.
24. СНиП 11-22-81* Каменные и армокаменные конструкции / Госстрой России – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 40 с.

25. ТКП 45-5.05-146-2009(02250) Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования. – Мн.: Минстройархитектуры, 2009 – 67 с.
26. ГОСТ 26629-85 Здания и сооружения. Методы тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций
27. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования– Мн.: Минстройархитектуры, 2007 – 18 с.
28. СТБ 1711-2007 Лесоматериалы круглые хвойных пород. Технические условия – Мн.: УП «Белгипролес», 2008 – 18 с.
29. СТБ 1712-2007 Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия – Мн.: УП «Белгипролес», 2007 – 26 с.
30. СТБ 1713-2007 Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия – Мн.: УП «Белгипролес», 2007 – 20 с.
31. СТБ 1714 -2007 Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия – Мн.: УП «Белгипролес», 2007 – 16 с.
32. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия. М.: ФГУПП, 2005 – 44с.
33. ГОСТ 26629-85 Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций – М.:НИИСФ Госстроя СССР, 1986 – 9с.
34. ГОСТ 21718-84 Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности – М.: НИИССФ, 1985 – 7 с.
35. www.teplonadzor.ru
36. www.algopro.ru