Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Р.Г. Касимов

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Оренбург
2019

УДК 332.6(076.5)
ББК 65.22я7
К28

Рецензент – кандидат технических наук, старший преподаватель
Г. А. Столповский

**Касимов, Р. Г.**
К28 Техническая экспертиза зданий и сооружений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Р. Г. Касимов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 137 с.
ISBN 978-5-7410-2301-3

Изложены сведения необходимые для решения практических задач по оценке технического состояния строительных конструкций; приведен справочный материал, позволяющий оценить техническое состояние конструкций по внешним характерным признакам и дать заключение о дальнейшей эксплуатации конструкций. Приведены численные примеры поверочных расчетов строительных конструкций и перечень вопросов для самоконтроля усвоения материала, указаны литературные источники.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по программе высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

УДК332.6(076.5)
ББК65.22я7

© Касимов Р.Г., 2019
© ОГУ, 2019

ISBN 978-5-7410-2301-3

# Содержание

Введение ..... 6
1 Повреждение строительных конструкций и их значение ..... 7
1.1 Общие сведения ..... 7
2 Общие сведения о составе и объеме практических работ ..... 9
3 Практическая работа №1. Определение дефектов и повреждений железобетонных конструкций, оценка их технического состояния ..... 10
3.1 Характерные дефекты и повреждения железобетонных конструкций ..... 10
3.2 Оценка несущей способности железобетонных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов ..... 15
3.3 Содержание практической работы №1 ..... 20
3.3.1 Вопросы для самопроверки ..... 20
3.3.2 Используемая литература ..... 21
3.4 Численные примеры ..... 21
3.4.1 Пример ..... 21
3.4.2 Пример ..... 26
4 Практическая работа №2. Определение дефектов и повреждений каменных конструкций, оценка их технического состояния ..... 29
4.1 Характерные дефекты и повреждения каменных конструкций ..... 29
4.2 Оценка несущей способности каменных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов ..... 35
4.3 Содержание практической работы №2 ..... 41
4.3.1 Вопросы для самопроверки ..... 41
4.3.2 Используемая литература ..... 42
4.4 Численные примеры ..... 42
4.4.1 Пример ..... 42

4.4.2 Пример ..... 45
5 Практическая работа№3. Определение дефектов и повреждений деревянных конструкций, оценка их технического состояния ..... 48
5.1 Характерные дефекты и повреждения деревянных конструкций ..... 48
5.1.1 Трещины в древесине и их учет при оценке технического состояния деревянных конструкций ..... 51
5.2 Оценка несущей способности деревянных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов ..... 54
5.3 Содержание практической работы №3 ..... 61
5.3.1. Вопросы для самоконтроля ..... 62
5.4 Численные примеры ..... 63
5.4.1 Пример ..... 63
5.4.2 Пример ..... 65
6 Практическая работа № 4. Определение дефектов и повреждений стальных конструкций, их влияние на эксплуатационные качества объекта экспертизы . 68
6.1 Характерные дефекты и повреждения стальных конструкций ..... 68
6.2 Оценка несущей способности стальных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов ..... 72
6.3 Содержание практической работы №4 ..... 77
6.3.1 Вопросы для самопроверки ..... 78
6.3.2 Используемая литература ..... 79
6.4 Численные примеры ..... 79
6.4.1 Пример ..... 79
6.4.2 Пример ..... 80
6.4.3 Пример ..... 82
Список использованных источников ..... 85
Приложение А *(справочное)* ..... 87

Приложение Б *(справочное)* ..... 103
Приложение В *(справочное)* ..... 119
Приложение Г *(справочное)* ..... 126

# Введение

Техническая экспертиза строительных конструкций, зданий и сооружений с выявлением дефектов, и повреждений, восстановление эксплуатационных качеств строительных объектов являются неотъемлемыми составляющими, обеспечивающими безопасные и долговременные условия эксплуатации.

Техническая экспертиза занимается установлением и изучением признаков, характеризующих состояния строительных конструкций, зданий и сооружений для выявления возможных дефектов, и повреждений, и предотвращения нарушения нормального режима их эксплуатации. Техническая экспертиза строительных конструкций, зданий и сооружений может проводиться визуально, при помощи внешнего осмотра, или при помощи приборов и оборудования при детальном обследовании.

Основные принципы технической экспертизы заключаются в фиксации определённых параметров строительных конструкций и сравнение их с проектными значениями.

Техническое диагностика одно из условий, направленных на предотвращение аварии и сохранение долговечности строительных объектов.

# 1 Повреждение строительных конструкций и их значение

## 1.1 Общие сведения

Возведенные здания из сооружения со временем, подвергаясь физическому и моральному износу, теряет частично или полностью свои эксплуатационные качества в результате образования и развития различных дефектов и повреждений.

Основными причинами образования дефектов и повреждений являются:

– ошибки проектирования;

– некачественное выполнение строительных работ;

– воздействие внешней среды;

– неблагоприятные условия эксплуатации, недостаточные сведения о поведении строительных материалов и конструкций при эксплуатации.

За последнее столетие строительство существенно изменилось качественно и количественно. Возводятся многоэтажные здания, сложные пространственные конструкции др. В то же время, в связи с повышенными требованиями к экономии материала, снижается коэффициент безопасности и надёжности. Для своевременного выявления дефектов и повреждений строительных конструкций, причин их образования и влияния на эксплуатационные качества, что имеет большое значение для дальнейшей безопасности объекта, проводится техническая экспертиза зданий и сооружений.

Технической экспертизе подлежат также строительные объекты при модернизации и реконструкции, здания и сооружения, в случае любого вида ремонта, при изменении условий эксплуатации и др. [1,2].

Строительные конструкции здания и сооружения могут быть выполнены из разных строительных материалов: бетон, кирпич, железобетон, металл, дерево, пластмассы. Повреждения и разрушение строительных конструкций,

выполненных из этих материалов и работающих на сжатие, растяжение, изгиб имеют свои характерные особенности, что нередко позволяет экспертам по внешним характерным признакам определять причину и опасность дефекта или повреждения, и своевременно принять меры по предотвращению аварий.

## 2 Общие сведения о составе и объеме практических работ

**Тема:** дефекты и повреждения строительных конструкций и характерные внешние признаки, оценка влияния на эксплуатационные качества.

**Цель:** научиться определять дефекты и повреждения железобетонных, каменных, металлических и деревянных конструкций по характерным внешним признакам, определить вероятные причины их образования и влияние на эксплуатационные качества.

**Задание:** по характерным внешним признакам дефектов и повреждений строительных конструкций установить вероятные причины их образования (таблицы приложения А, Б, В, Г), категорию технического состояния, выполнить в поверочный расчёт конструкции, элементов с учётом выявленных дефектов, оценить степень повреждения.

**Отчетный материал:** схематичное изображение на листе формата А3 обследуемой конструкции, элементов с дефектами и повреждениями и их параметры (размеры площади повреждения, глубина, ширина и длина раскрытия трещин, размеры сколов и т.п.); пояснительная записка с описанием внешних признаков и повреждений, вероятными причинами образования и категорией технического состояния, поверочный расчёт конструкции или элемента с учётом дефектов и повреждений.

# 3 Практическая работа №1. Определение дефектов и повреждений железобетонных конструкций, оценка их технического состояния

## 3.1 Характерные дефекты и повреждения железобетонных конструкций

Достижение железобетонными конструкциями предельного состояния сопровождается образованием и развитием трещин, чрезмерными деформациями. Характер разрушения железобетонных конструкций во многом определяется характером воздействия внешней силы на конструкцию – сжатие, растяжение, изгиб.

Изгибаемые железобетонные конструкции разрушаются, в большинстве случаях, не хрупко. Разрушению предшествует образование и развитие трещин и рост прогибов. Исключение составляют слабо армированные изгибаемые элементы, а также, случаи разрушения по наклонным сечениям изгибаемых элементов, от действия внешней силы при малых пролетах среза.

Хрупкое разрушение наиболее распространено в конструкциях или элементах, работающих на сжатие.

Ширина раскрытия трещин в железобетонных конструкциях ограничивается нормами. Предельно допустимая ширина раскрытия трещин, согласно п. 8.2.6 [10] принимается равной:

а) из условия обеспечения сохранности арматуры классов А240 … А600, В500:

0,3 мм - при продолжительном раскрытии трещин;

0,4 мм - при непродолжительном раскрытии трещин;

классов А800, А1000, $В_р$1200 - $В_р$1400, К1400, К1500 (К-19) и К1500 (К-7), К1600 диаметром 12 мм:

0,2 мм - при продолжительном раскрытии трещин;

0,3 мм - при непродолжительном раскрытии трещин;

классов $В_р$1500, К1500 (К-7), К1600 диаметром 6 и 9 мм:

0,1 мм - при продолжительном раскрытии трещин;

0,2 мм - при непродолжительном раскрытии трещин;

б) из условия ограничения проницаемости конструкций

0,2 мм - при продолжительном раскрытии трещин;

0,3 мм - при непродолжительном раскрытии трещин.

По характеру расположения, ширине раскрытия, форме и длине трещин в железобетонных конструкциях можно с достаточной степенью достоверности определить причины из образования и возможные последствия (рисунок 1,2,3) нормальные к продольной оси трещины в растянутой зоне до 0,3 мм говорят о работе конструкции под полной нагрузкой (рисунок 2).

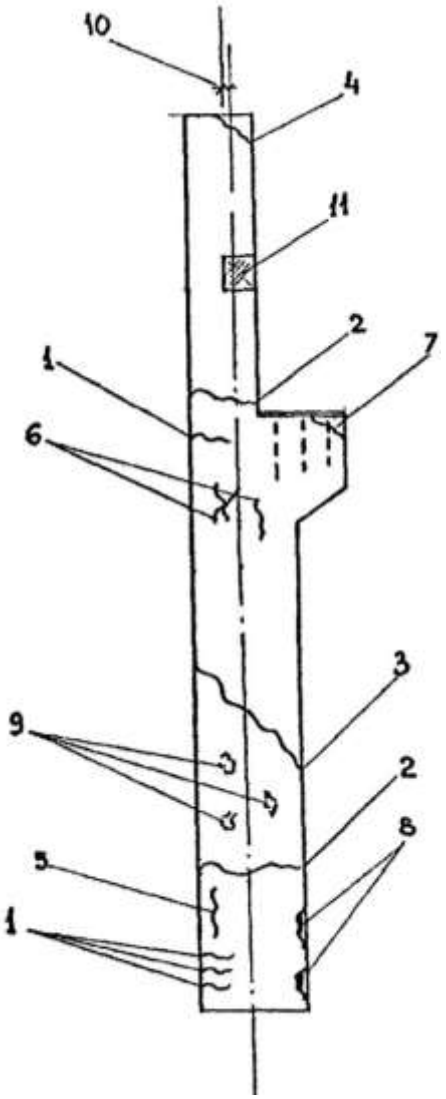
Раскрытие трещин в растянутой зоне свыше 0,5 мм свидетельствуют о разрушении конструкций с возможным разрывом арматуры или нарушением анкеровки арматуры.

Образование продольных трещин в сжатой зоне изгибаемых элементов на участке с наибольшим изгибающим моментом свидетельствует об аварийном состоянии конструкции.

В железобетонных конструкциях и элементах, работающих на растяжение, возможно образование трещин, направленных по нормали к оси действия сил, проходящих через все сечение. При ширине раскрытия трещин не более 0,2 мм считается, что агрессивная воздушная среда не доходит до арматуры.

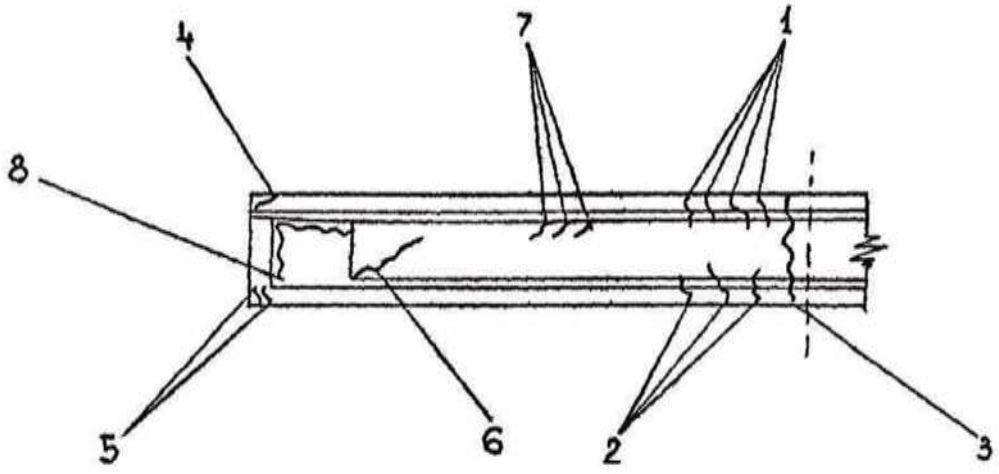
Продольные трещины в растянутых элементах могут возникать от усадки, обжатия преднапряженной арматурой, в этом случае они не служат признаками аварийной ситуации.

Образование продольных трещин или наклонных под углом 45º в сжатых элементах говорит об их перегрузке.




1 – Силовые, нормальные к плоскости поперечной рамы трещины; 2,3 – Дефекты транспортирования, монтажа, складирования; 4 – Скол бетона от перегрузки, недостаточной прочности бетона в местах опирания балок, ферм; 5 – Усадочные трещины вдоль арматуры; 6 – Температурно-усадочные трещины (при изготовлении); 7 – Скол бетона под закладной деталью, недостаточная прочность бетона, неправильное армирование; 8 – Скол бетона (удары при транспортировании, монтаже, эксплуатации); 9 – Раковины, каверны (дефект изготовления); 10 – Отклонение от вертикали (дефект монтажа); 11 – Коррозия закладных деталей

Рисунок 1 – Железобетонная, одноветвевая колонна. Характерные дефекты и повреждения

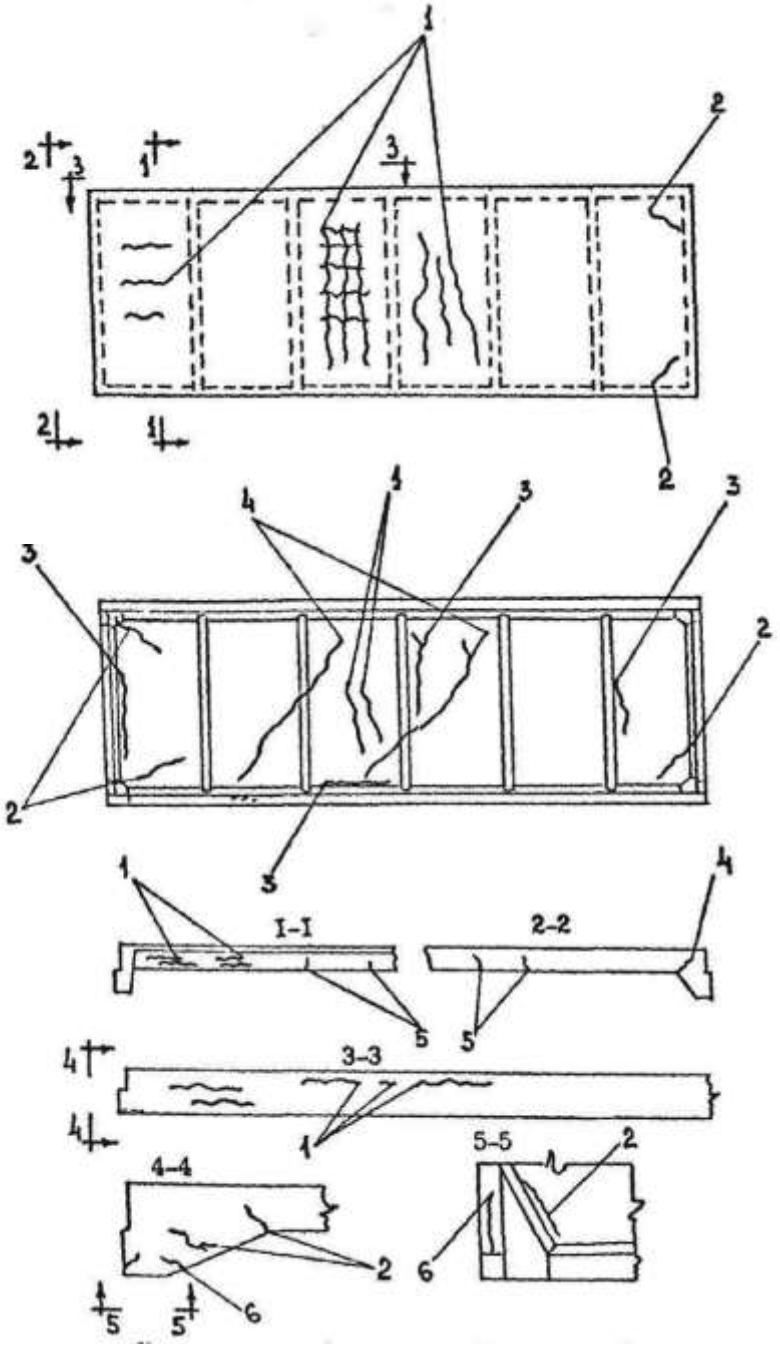



1 – Силовые трещины в верхней полке (горизонтальные усилия из-за износа крановых путей, колес); 2 – Силовые трещины (недостаточное натяжение арматуры); 3 – Трещины по боковой грани (развитие трещин типа 1,4); 4 – Трещины скола (плохое опирание рельса); 5 – Силовые трещины (нарушение сцепления при отпуске арматуры); 6 – Силовые трещины (нарушение сцепления арматуры, понижение прочности бетона); 7 – Воздействие главных растягивающих напряжений (перегрузка); 8 – Усадочные трещины.

Рисунок 2 – Характерные дефекты и повреждения сборных подкрановых балок

Вид сверху

Вид снизу




1 – Трещины от усадки бетона; 2 – Трещины в поперечных ребрах (заклинивание формы при отпуске арматуры); 3 – Трещины вдоль ребер (усадка, разность температуры бетона и формы); 4 – Трещины в полке (дефект транспортирования, монтажа); 5 – Трещины в продольных ребрах (дефект транспортирования, монтажа); 6 – Трещины в продольных ребрах (при отпуске арматуры).

Рисунок 3 – Характерные дефекты железобетонных ребристых плит покрытия

Поперечные трещины в сжатых от нагрузки элементах свидетельствуют о возникновении в элементах растяжения в поперечном направлении и снижении несущей способности примерно на 15%. Появление трещин в сжатых элементах (рисунок 1), при которых отделяется защитный слой и происходит выпучивание продольной арматуры, свидетельствует от аварийной ситуации.

Не менее важной характеристикой технического состояния железобетонных конструкция является величина вертикального и горизонтального перемещения. Для любых элементов железобетонных конструкций, прогибы которых не оговорены в приложении Е [5] и другими нормативно-техническими документами, вертикальные и горизонтальные прогибы и перемещения от постоянных длительных и кратковременных нагрузок не должны превышать 1/150 пролета или 1/75 вылета консоли. Значения вертикальных предельных прогибов представлены в таблице А.4 приложения А.

## 3.2 Оценка несущей способности железобетонных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов

Поверочный расчет несущей способности выполняются, согласно п.12.3.6 [10], с учетом выявленных дефектов и повреждений с целью определения:

– возможности дальнейшей эксплуатации строительных конструкций по их функциональному назначению без ограничений;

– необходимости усиления строительных конструкций;

– возможности эксплуатации строительных конструкций с ограничениями до момента проведения плановых ремонтно-восстановительных работ;

– необходимости немедленного прекращения эксплуатации строительных конструкций с целью предупреждения аварийной ситуации;

– имеющихся резервов несущей способности строительных конструкций.

Поверочные расчеты выполняются согласно разделу п.12 [10], в соответствии с действующими строительными нормами и сводами правил по видам конструкций с учетом фактических данных, полученных при детальном обследовании.

Оценку несущей способности железобетонных конструкций производят по зонам, участкам или элементам с однотипным напряженным состоянием (пояса и раскосы ферм, приопорные и пролетные участки балок, ригелей, плит и т.д.).

На каждом участке (элементе, зоне) выделяют наиболее поврежденное по статическим критериям сечение, которое принимают совмещенным с наиболее напряженными сечениями.

При оценке деформативности строительных конструкций допускается принимать средние значения параметров жесткости сечений в пределах каждого участка (зоны, элемента).

При наличии в конструкциях наружных слоев с пониженной прочностью бетона (на глубину, превышающую толщину защитного слоя) в расчете несущей способности и деформативности допускается принимать либо полное сечение элементов с единой пониженной прочностью в пределах всего сечения, либо уменьшенные размеры (за вычетом слоев с пониженной прочностью) с фактичекской прочностью бетона в оставшемся сечении.

Во всех случаях принимаемая в расчетах фактическая прочность бетона не должна быть менее 10 МПа. Слои бетона с меньшей прочностью в расчете не должны учитываться.

При местном разрушении бетона сжатой зоны конструкции поверочный расчет производится при фактических геометрических размерах поперечного сечения за вычетом разрушенного участка.

При наличии силовых продольных трещин в месте сопряжения полки и ребра изгибаемых элементов таврового поперечного сечения площадь сечения свесов полки в расчете не учитывается.

При наличии продольных трещин в зоне анкеровки рабочей арматуры к расчетному сопротивлению арматуры вводится понижающий коэффициент, равный: 0,5 – для средних стержней рядов арматуры; 0,25 – для угловых.

При местном снижении прочности бетона сжатой зоны, когда в ней расположен бетон разного класса, расчет железобетонного элемента производится по приведенному расчетному сечению

$$R_b^{\Phi} = \sum_{i=1}^{n} R_{b,i} \cdot s_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} s_{ci} \,, \qquad (1.1)$$

где $R_{b,i}$ – расчетное сопротивление бетона на i-том участке сжатой зоны;

$s_{ci}$ – статический момент i-того участка относительно оси, проходящей через центр тяжести растянутой или менее сжатой арматуры.

Если в результате расчета окажется, что сжатая зона находится только на участке бетона одного класса, то вместо $R_b^{\Phi}$ следует принимать расчетное сопротивление бетона этого участка $R_{b,i}$ и уточнить высоту сжатой зоны бетона.

Фактическая площадь поперечного сечения арматурных стрежней определяется по усредненным результатам измерений диаметра арматурных стержней после очитки их от продуктов коррозии.

Арматурные стрежни, диаметр которых в результате коррозии уменьшился более чем на 50%, в поверочных расчетах не учитываются п. 12.4.2 [10].

При отсутствии данных испытаний арматуры и невозможности отбора образцов допускается назначать расчетные сопротивления арматуры в соответствии с п. 12.3.5 [10].

При повреждении арматуры коррозией, обрыве части стержней арматуры поверочный расчет производится с учетом фактического уменьшения сечения или отсутствия части арматуры железобетонного элемента.

В случае повреждения поперечной арматуры (или мест ее сварки), закрепляющей продольные сжатые стержни от их бокового выпучивания в любом направлении, и увеличении расстояния между хомутами более допустимого продольные сжатые стержни в расчете не учитываются.

Поверочные расчеты несущей способности и деформативности железобетонных конструкций выполняются в соответствии с требованиями и по формулам СП 63.13330.2012 с использованием фактических данных, полученных при обследовании конструкций.

По результатам поверочных расчетов по первой и второй группе предельных состояний железобетонных конструкций оцениваются как пригодные к дальнейшей эксплуатации без усиления или восстановления, если соблюдаются следующие условия

$$F \le F_u(S, R_{bn}, R_{btn}, R_{sn}, \gamma_b, \gamma_{bt}, \gamma_s, \gamma_{st}, K_{из}, K'_{из}, K''_{из}); \quad (1.2)$$

$$a_{crc} \le [a_{crc}]; \quad (1.3)$$

$$f \le [f]; \quad (1.4)$$

где F – фактическое внешнее усилие (продольная сила N, изгибающий момент M, поперечная сила Q, крутящий момент T);

$F_u$ – фактическая (расчетно-теоретическая) несущая способность сечения железобетонного элемента;

S – фактические геометрические характеристики сечения;

$R_{bn}$, $R_{btn}$ – нормативные сопротивления бетона осевому сжатию и растяжению соответственно;

$R_{sn}$ – нормативное сопротивление арматуры осевому растяжению;

$\gamma_b$, $\gamma_s$ – коэффициенты надежности бетона и арматуры соответственно;

$\gamma_{bt}$, $\gamma_{st}$ – коэффициенты условий работы бетона и арматуры соответственно;

$K_{из}$, $K'_{из}$, $K''_{из}$ – коэффициенты, учитывающие изменение прочности бетона, арматуры и сцепление арматуры с бетоном, принимаемые по таблице А.1 приложения А;

$a_{crc}$, f – фактические и расчетные значения ширины раскрытия трещин и прогиба, вычисленные при фактических прочностных характеристиках бетона и арматуры, геометрических размерах с учетом коэффициентов $K_{из}$, $K'_{из}$, $K''_{из}$ приведенных в таблице А.1 приложения А.

$[a_{crc}]$, [f] – допустимые значения ширины раскрытия трещин и прогиба по СП 63.13330.2012 и СП 20.13330.2017.

Допускается не производить поверочные расчеты по второму предельному состоянию в тех случаях, когда фактические перемещения и ширина раскрытия трещин обследуемых конструкций меньше предельно допустимых, а усилия в сечениях от новых нагрузок не превышают усилий от фактически действовавших (проектных) нагрузок п. 13.3.3 [10].

Если по результатам поверочных расчетов не удовлетворяется хотя бы одно из требований предельных состояний, то обследованные железобетонные конструкции подлежат восстановлению или усилению.

### 3.3 Содержание практической работы №1

**Определение дефектов и повреждений железобетонных конструкций, их влияние на эксплуатационные качества объекта экспертизы**

**Цель:** Научиться определять дефекты и повреждения железобетонных конструкций. По внешним характерным признакам определять вероятную причину их образования и влияние на эксплуатационную надежность (прочность, жесткость, долговечность).

**Задание:** по внешним характерным признакам дефектов и повреждений установить возможные причины их образования, используя таблицы приложения А, категорию технического состояния и оценить несущую способность конструкции, элемента с учетом дефектов и повреждений, оцениваемых коэффициентом К.

**Отчетный материал:** представляется схематичное изображение на листе формата А4, А3 обследуемой конструкции, элемента с обозначением параметров повреждения. Устанавливается категория технического состояния конструкции по внешним признакам. Выполняется поверочный расчет конструкции с учетом дефектов и повреждений.

3.3.1 Вопросы для самопроверки

1 Причины образования продольных трещин в сжатой зоне изгибаемых элементов

2 Причины образования наклонных трещин в изгибаемых элементах

3 Причины образования высолов на поверхности плит покрытия

4 Причины чрезмерных прогибов изгибаемых элементов железобетонных конструкции

5 Характерные признаки перегрузки железобетонных балок

6 Характерные признаки перегрузки сжатых железобетонных конструкций

7 Возможные причины образования продольных трещин по следу рабочей арматуры в приопорной зоне изгибаемых элементов

8 Максимально допустимая ширина раскрытия трещин нормальных к продольной оси изгибаемого элемента

9 Причины образования трещин нормальных к продольной оси сжатого элемента

10 Характерный признак перенапряжения растянутых железобетонных элементов

3.3.2 Используемая литература

[1], [2], [4], [5], [8], [9], [10], [16].

## 3.4 Численные примеры

3.4.1 Пример

Исходные данные

Проведенное после пожара обследование железобетонного ригеля каркасного здания выявило различное по высоте ребра ригеля снижение прочности бетона сжатой зоны.

Ригель таврового профиля с полкой в растянутой зоне (рисунок 4) из бетона класса В30, армированный продольной рабочей арматурой класса А400.

Арматура из двух стержней диаметром 32 мм общей площадью $A_s$ = 16,09 см$^2$. Расчетное сопротивление арматуры $R_s$ = 339 МПа. Высота ригеля h = 500 мм, ширина ребра b = 200 мм, ширина нижней полки $b_f^{'}$ = 500 мм, высота нижней полки $h_f^{'}$ = 200 мм. Защитный слой бетона a = 50 мм.

Коэффициент условий работы бетона после пожара α = 0,85.

Момент в ригеле от действия постоянных и временных нагрузок M = 190 кН·м.

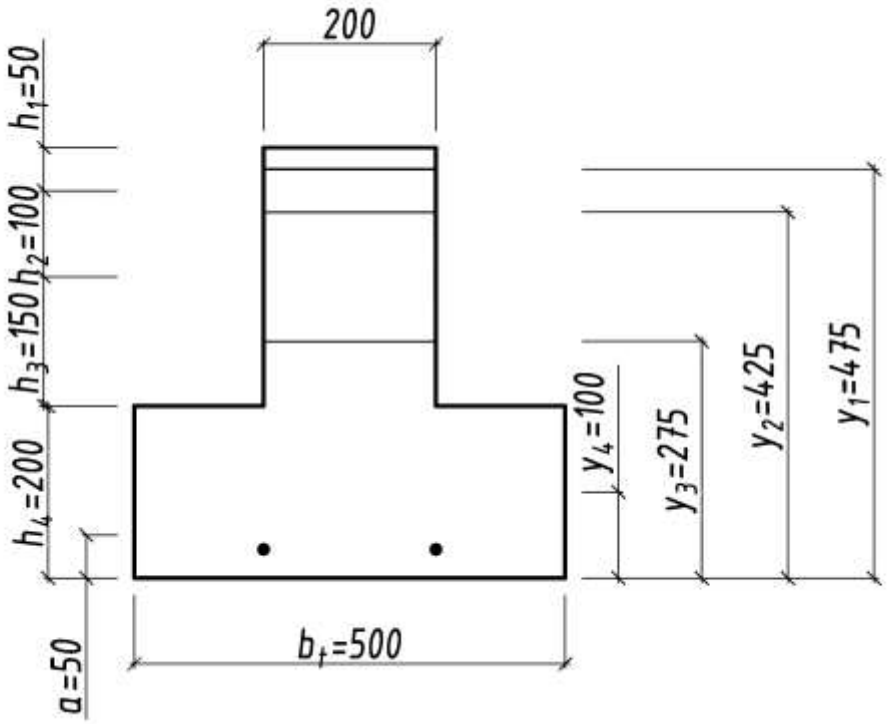



Рисунок 4 – Сечение ригеля таврового профиля с полкой в растянутой зоне

При визуальном обследовании железобетонного ригеля, оказавшегося в зоне пожара, было выявлено изменение цвета бетона до розового, отдельные незначительные сколы углов, микротрещины на поверхности глубиной не более 2 см.

На основании выявленных характерных признаков по таблице 22 [16] конструкции присвоена 3 категория (ограниченно-работоспособное) технического состояния.

Причиной образовавшихся дефектов явилось воздействие высоких температур при пожаре. Воздействие высоких температур привело также к снижению прочности бетона. Оценить несущую способность поврежденной конструкции возможно на основании поверочного расчета. По результатам проведенных испытаний прочности бетона неразрушающими методами контроля установлено:

1 участок – класс бетона В15,8 ($R_{b1}$ = 9 МПа);

2 участок – класс бетона В19,2 ($R_{b2}$ = 12 МПа);

3 участок – класс бетона В25 ($R_{b3}$ = 14,5 МПа);

4 участок – класс бетона В28 ($R_{b4}$ = 16 МПа).

Вскрытие рабочей арматуры выявило коррозионное повреждение. Толщина слоя ржавчины не более 2,2 мм. Диаметр очищенной от ржавчины арматуры 29,8 мм.

Расстояние от центра участков со сниженной прочностью бетона до центра тяжести рабочей арматуры: 1 участок $y_1$ = 475 мм; 2 участок $y_2$ = 425 мм; 3 участок $y_3$ = 275 мм; 4 участок $y_4$ = 200 мм.

Коэффициент условий работы арматуры, поврежденной коррозией

$$k_S = 1 - \frac{d_0^2 - d^2}{d_0^2}, \qquad (1.5)$$

где $d_0$ – диаметр не поврежденной арматуры ($d_0$ = 32 мм);

d – диаметр поврежденной коррозией арматуры (d = 29,8 мм).

$$k_S = 1 - \frac{32^2 - 29{,}8^2}{32^2} = 0{,}87.$$

Задаются высотой сжатой зоны X' = 300 мм. Определяется приведенное расчетное сопротивление бетона сжатой зоны.

Статический момент участков сжатой зоны относительно центра тяжести арматуры:

$$S_i = h_i b(y_i - a)$$
$$S_1 = h_1 b(y_1 - a) = 200 \cdot 50(475 - 50) = 4{,}25 \cdot 10^6 \ \ мм^3$$
$$S_2 = h_2 b(y_2 - a) = 100 \cdot 200(425 - 50) = 7{,}5 \cdot 10^6 \ \ мм^3$$
$$S_3 = h_3 b(y_3 - a) = 150 \cdot 200(275 - 50) = 6{,}75 \cdot 10^6 \ \ мм^3$$

Приведенное расчетное сопротивление бетона сжатой зоны

$$R_b^{ф} = \sum_{i=1}^{3} R_{bi} S_i \Big/ \sum_{i=1}^{3} S_i = \frac{9 \cdot 4{,}25 \cdot 10^6 + 11 \cdot 7{,}5 \cdot 10^6 + 14{,}5 \cdot 6{,}75 \cdot 10^6}{(4{,}25 + 7{,}5 + 6{,}75) \cdot 10^6} = 11{,}8\,\text{МПа} \qquad (1.6)$$

Высота сжатой зоны по расчету

$$X = \frac{R_s k_s A_s}{\alpha R_b^{ф} b} = \frac{339 \cdot 0{,}87 \cdot 16{,}06}{0{,}85 \cdot 11{,}8 \cdot 20} = 23{,}6\,\text{см} \qquad (1.7)$$

α = 0,85 – коэффициент, учитывающий условия работы бетона после пожара.

Точность вычисления составляет

$$\Delta = \left[ (300 - 236) \big/ 236 \right] \cdot 100\% = 27{,}5\% > 5\% \qquad (1.8)$$

Задаются повторно высотой сжатой зоны X' = 250 мм и повторяют расчет.

При этом изменится значение толщины слоя, учитываемого в расчете, по которому проходит нижняя граница сжатой зоны $h_3$ = 100 мм, тогда $y_3$ = 300 мм:

$$S_3 = h_3 b(y_3 - a) = 100 \cdot 200(300 - 50) = 5 \cdot 10^6 \ \ мм^3$$

$$R_b^{ф} = \sum_{i=1}^{3} R_{bi} S_i \Big/ \sum_{i=1}^{3} S_i = \frac{9 \cdot 4{,}25 \cdot 10^6 + 11 \cdot 7{,}5 \cdot 10^6 + 14{,}5 \cdot 6{,}75 \cdot 10^6}{(4{,}25 + 7{,}5 + 5) \cdot 10^6} = 11{,}53 \text{МПа}$$

$$X = \frac{R_s k_s A_s}{\alpha R_b^{ф} b} = \frac{339 \cdot 0{,}87 \cdot 16{,}06}{0{,}85 \cdot 11{,}53 \cdot 20} = 24{,}16 \text{см}$$

Точность вычисления составляет

$$\Delta = \left[ (250 - 241{,}6) \big/ 241{,}6 \right] \cdot 100\% = 3{,}4\% < 5\%$$

Относительная высота сжатой зоны бетона и ее граничное значение

$$\xi = \frac{x}{h - a} = \frac{241}{450} = 0{,}53 < \xi_R = 0{,}531 \approx 0{,}535 \qquad (1.9)$$

Продольная арматура достигает в предельной стадии предельных деформации.

Фактическая несущая способность ригеля по нормальным сечениям составит

$$M^{Ф} = \alpha R_b^{Ф} bx \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) = 0{,}85 \cdot 11{,}53 \cdot 200 \cdot 241 \left( 450 - \frac{241}{2} \right) = 155{,}65 \text{кН·м}$$

$$M = 190 \text{ кН·м} > M^{Ф} = 155{,}65 \text{ кН·м}.$$

Требуется усиление ригеля.

3.4.2 Пример

Исходные данные

В связи с выявлением внешних признаков, снижающих эксплуатационные качества конструкции проведена техническая экспертиза железобетонной балки покрытия.

Балка сечением b×h=300×700 мм выполнена из тяжелого бетона класса В15 ($R_b\gamma_b$=7,7 МПа). Армирование рабочей продольной арматурой выполнено из 2-х стержней диаметром 28 мм и одного стрежня диаметром 25 мм. Общая площадь арматуры $A_s$=15,98 см$^2$, класс арматуры А300 ($R_s$=280 МПа).

Изгибающий момент от действия постоянной и временной нагрузки М=239 кН·м. Условия эксплуатации неблагоприятные.

При выполнении визуального обследования выявлены трещины, которые прошли по нижней грани по следу рабочей арматуры, следы ржавых пятен. Вскрытие арматуры выявило потерю до 10% рядового сечения. $A_S^{Ф}$=15,98·0,9=14,38 см$^2$. Категория технического состояния балки, согласно таблице А.1 приложения А, ограничено работоспособное (3). Причиной снижения эксплуатационных качеств явилась коррозия арматуры и бетона из-за нарушения условий эксплуатации, таблица А.3 приложение А.

Прочность бетона по результатам испытаний прочности методом скола ребра снизилась на 8-10% (категория технического состояния конструкций 3 (таблица А.2 Приложение А.)).

Класс бетона с учетом снижения прочности

$$B^{\Phi} = B \cdot 0{,}9 = 15 \cdot 0{,}9 = 13{,}5\text{МПа};\ R_b{}^{\Phi} = 7{,}1\ \text{МПа}.$$

Расчет

Определение проектной несущей способности. Рабочая высота сечения балки

$$h_0 = h - a = 70 - 6 = 64\,\text{см}.$$

Высота сжатой зоны

$$x = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b} = \frac{280 \cdot 15{,}98}{7{,}7 \cdot 30} = 19{,}37\,\text{см}.$$

Относительная высота сжатой зоны

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{19{,}37}{64} = 0{,}3.$$

Граничное значение относительной высоты сжатой зоны $\xi_R = 0{,}68$.

Проектная несущая способность балки по изгибающему моменту

$$M_n = R_s \cdot A_s \cdot (h_0 - \frac{x}{2}) = 280 \cdot 15{,}98 \cdot (64 - 9{,}69) = 243{,}0\,\text{кН·м}.$$

Фактическая несущая способность с учетом снижения класса бетона и потери части площади арматуры

$$X = \frac{R_s \cdot A_s^{\Phi}}{R_b^{\Phi} \cdot b} = \frac{280 \cdot 14{,}38}{7{,}1 \cdot 30} = 18{,}9 \text{ см.}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{18{,}9}{64} = 0{,}28 < \xi_R = 0{,}68.$$

Момент, воспринимаемый балкой с повреждениями

$$M_{\phi} = R_s \cdot A_s^{\Phi} \cdot (h_0 - \frac{x}{2}) = 280 \cdot 14{,}38 \cdot (64 - 9{,}45) = 219{,}64 \text{ кН·м.}$$

Несущая способность, $M_{\phi} = 219{,}64$ кН·м$<M_n = 243{,}0$ кН·м, не обеспечивается, требуется усиление.

# 4 Практическая работа №2. Определение дефектов и повреждений каменных конструкций, оценка их технического состояния

## 4.1 Характерные дефекты и повреждения каменных конструкций

Большую часть жилого фонда страны, большинство памятников истории, архитектуры, искусства составляют здания и сооружения, возведенные из каменных материалов как много веков назад, так и в наше время. Обеспечение сохранности этих объектов во многом зависит от своевременно проводимых экспертиз технического состояния и ремонтно- восстановительных работ.

Каменная кладка представляет собой неоднородный строительный материал, состоящий из камней, вертикальных и горизонтальных швов, заполненных раствором, которые обеспечивают монолитность кладки.

Каменные конструкции обладают низкой прочностью на растяжение, в связи с чем их применяют в элементах, работающих на сжатие – стенах, колоннах, фундаментах, пространственных покрытиях и перекрытиях, где кладка также работает на сжатие – купола и своды.

Эти и многие другие факторы определяют поведение каменной кладки под нагрузкой. Разрушение обычной кирпичной кладки при сжатии начинается с появления отдельных вертикальных трещин, в основном под и над вертикальными швами. При дальнейшем увеличении нагрузки количество местных вертикальных трещин уменьшается, они постепенно объединяются и образуют трещины большой протяженности, далее кладка расслаивается на отдельные столбики, которые затем разрушаются.

Чем ниже марка раствора, тем раньше в кладке появятся трещины.

Под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды, силовых воздействий и времени происходит физический износ каменных конструкций зданий и сооружений, проявляющийся в разрушении и выветривании камня и растворных швов, образовании трещин, сколов, просадок, потери устойчивости, прочности и др.

Довольно разнообразные дефекты и повреждения каменных конструкций оказывают влияние на эксплуатационные качества зданий и сооружений, снижая их долговечность и несущую способность, ухудшая условия комфортности помещения за счет несоответствия нормам температуры и влажности помещений, разрушая фасады, снижая эксплуатационную надежность.

Задача технической экспертизы заключается в определении по внешним характерным дефектам и повреждениям каменных конструкций, степени их повреждения, категории технического состояния, возможных последствий и, после выполнения поверочных расчетов, принятие решений о необходимости мероприятий по усилению и ремонту зданий и сооружений.

Характерными дефектами и повреждениями каменных конструкций являются (таблица Б.1, приложение Б):

– деформации стен, столбов виде прогибов, выгибов;

– отклонение от вертикали;

- вертикальные, горизонтальные и наклонные трещины, которые могут быть вызваны усадкой и ползучестью каменной кладки, температурными деформациями, неравномерными деформациями основания, разными по величине деформациями сопрягающихся конструкций, перенапряжением конструкций;

– отколы, раковины, выбоины;

– увлажнение кладки стен.

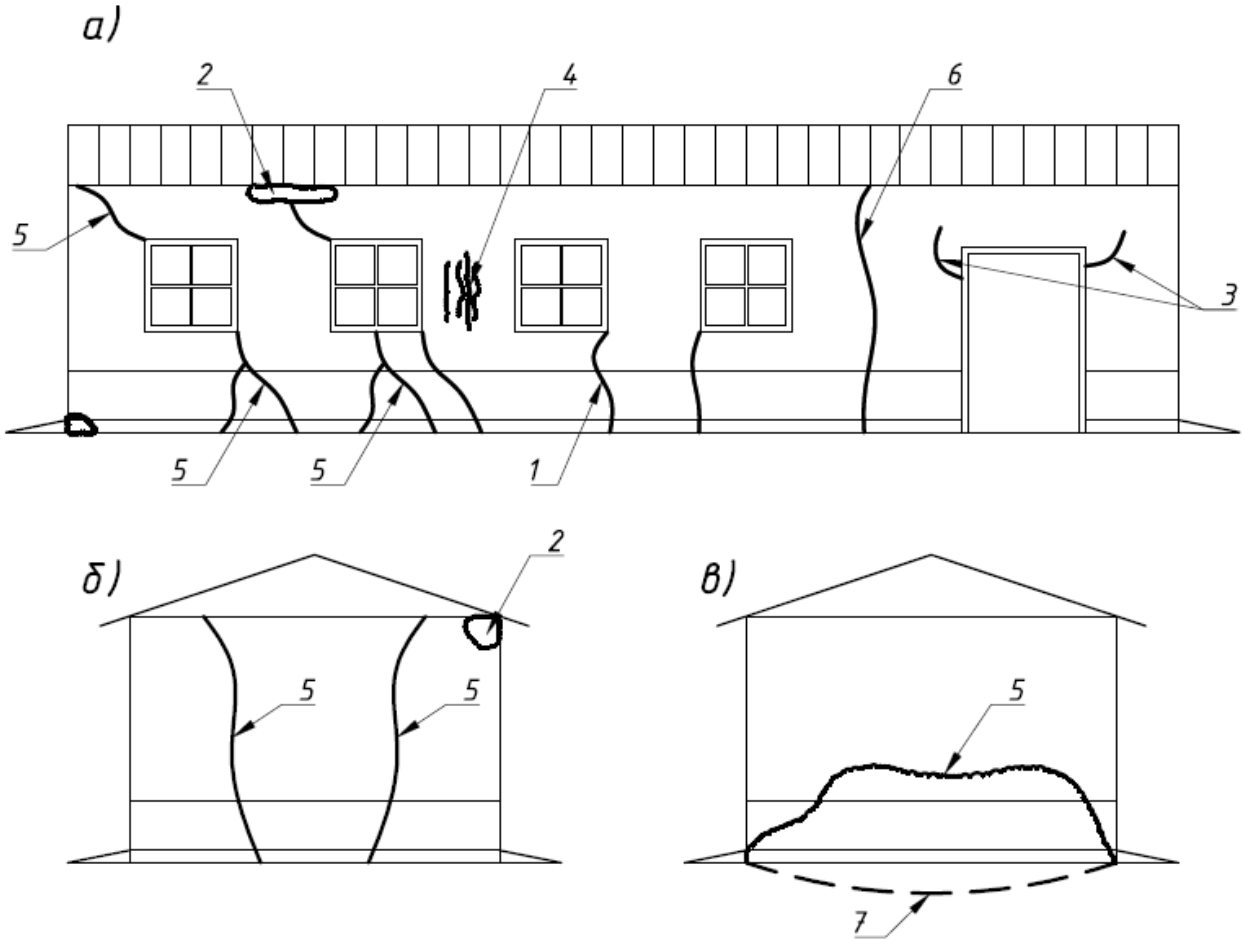
В кирпичных стенах трещины могут образовываться над оконными проемами или под ними в простенках, в цокольной части стены или в

карнизной части, под опорами балок в пилястрах, над опорами или по торцам перемычек, в глухих участках стен. Вертикальные или наклонные трещины могут проходить на всю высоту здания или иметь прерывистую траекторию. По форме трещины могут быть клиновидные с вершиной в верхней или нижней частях стены, с параллельными берегами и со смещением берегов по вертикали и горизонтали или без смещения.

Наклонные трещины, развитые по косой штробе, могут проходить по вертикальным и горизонтальным растворным швам без разрушения камня или с разрывом отдельных камней.

По месту расположения трещин, их форме, характеру и динамики развития можно с большой долей вероятности определить причину их образования и возможные последствия (рисунок 5,6,7).

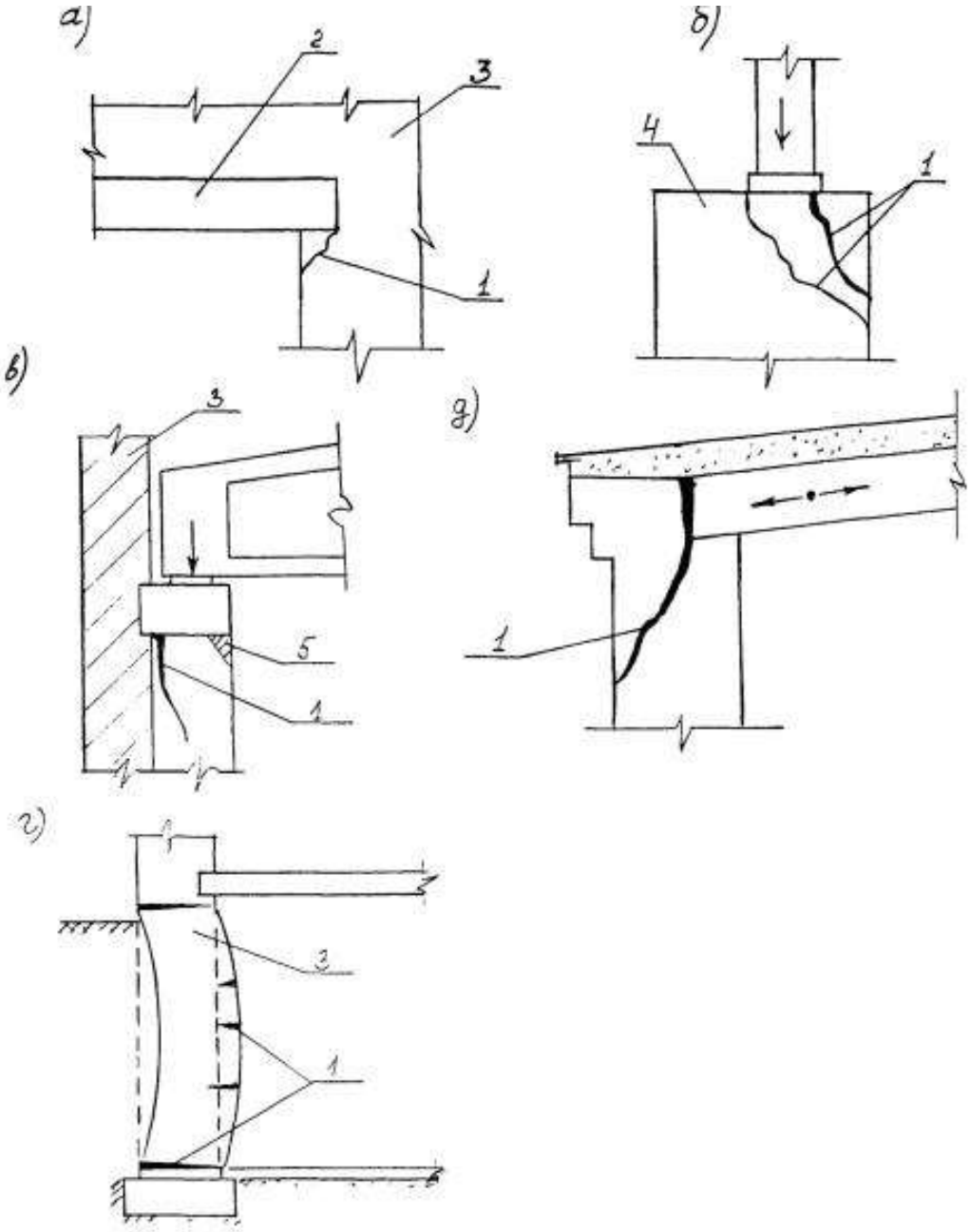
В таблице Б.1 приложения Б представлены часто встречающиеся дефекты и повреждения в конструкциях каменных стен, столбов, перечень дефектов и повреждений не является окончательным и всеохватывающим.




а) – в продольной несущей стене; б) – в торцевой стене; в) – в перегородке.

1 – трещина от местного увлажнения грунта; 2 – разрушение кладки, трещина от увлажнения; 3 – трещины от температурных деформаций перемычки; 4 – трещины от перенапряжения простенка; 5 – трещина от неравномерных осадок фундаментов; 6 – трещина от температурных деформаций при отсутствии температурных швов; 7 – линия осадок фундамента.

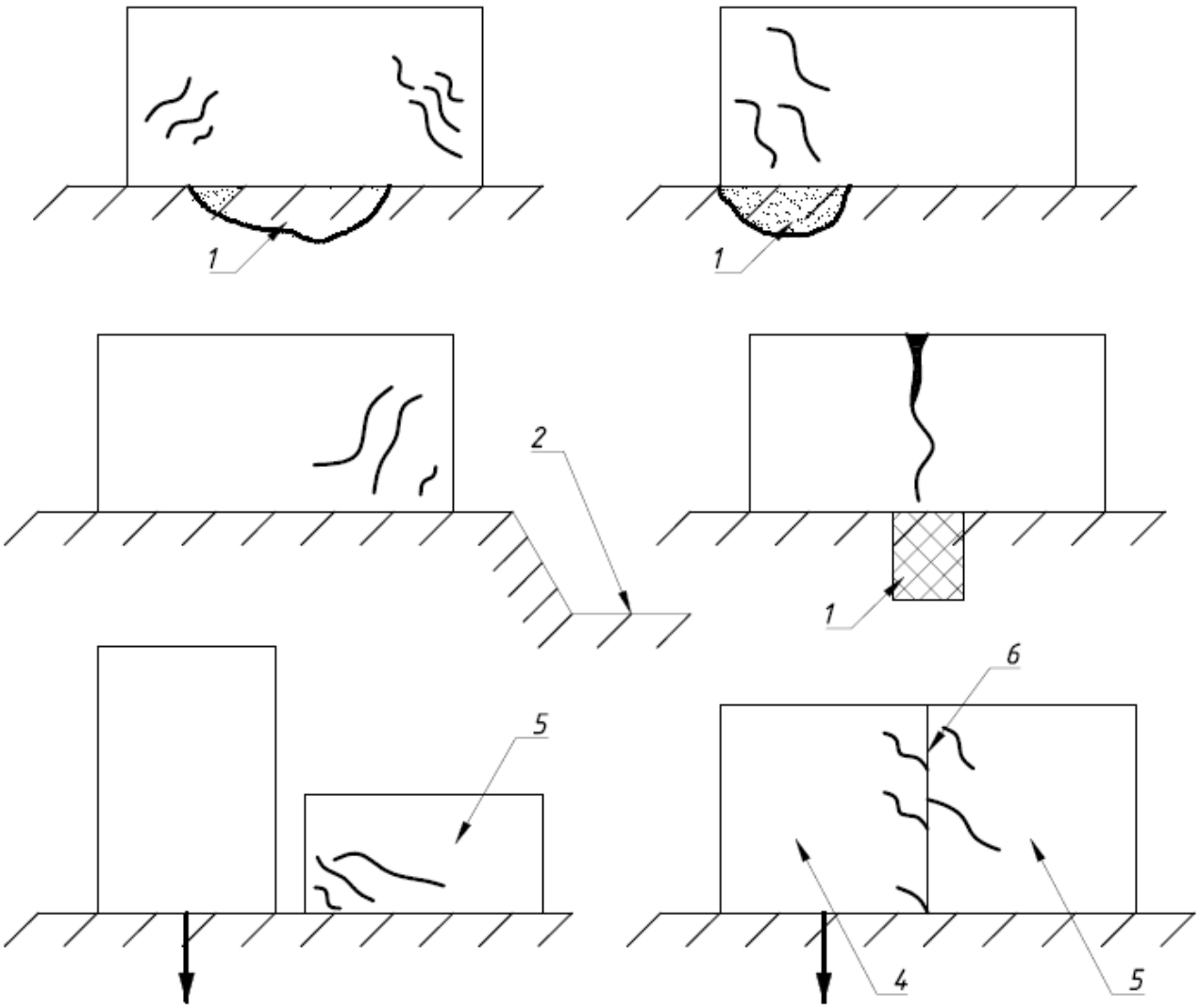
Рисунок 5 – Трещины в кирпичных стенах одноэтажного здания с указанием превалирующих причин их образования




а) – трещины в стене от усадки монолитной перемычки; б) – трещины в кирпичной колонне при нагрузке ее угла; в) – трещины и скол в кирпичной пилястре; г) – деформация и трещины стены подвала от давления грунта; д) – трещины в карнизе от распора при температурных деформациях или распора стропил без затяжек.

1 – трещины; 2 – перемычка; 3 – стена; 4 – колонна; 5 – стол кирпичной кладки.

Рисунок 6 – Повреждения каменных конструкций




1 – слабый грунт; 2 – котлован; 3 – жесткое включение значительных размеров; 4 – новое сооружение; 5 – старое сооружение; 6 – шов примыкания.

Рисунок 7 – Характерные трещины в стенах зданий от осадки основания

## 4.2 Оценка несущей способности каменных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов

Выполненная по внешним характерным признакам дефектов и повреждений предварительная оценка технического состояния строительных конструкций должна быть подтверждена поверочными расчетами с учетом выявленных дефектов и повреждений, фактическими прочностными и деформативными характеристиками камня и раствора, наличия эксцентриситетов, вызванных отклонением стен и столбов от вертикали или их выпучивания из плоскости.

При проведении технической экспертизы каменных конструкций важно установить конструкцию кладки, которая может быть сплошной и многослойной. Также важно определить конструкцию связи облицовки с несущим слоем, которая может быть гибкой или жесткой, что существенно сказывается на расчете несущей способности кладки. Определяя по таблицам 2 – 14 [11] расчетные характеристики кладки, следует внимательно отнестись к примечаниям в конце каждой таблицы.

Расчетные сопротивления кладки, приведенные в таблицах 2 – 10 [11], следует умножать на коэффициенты условия работы $\gamma_c$, приведенные в пунктах 6.10 – 6.15 [11].

Поверочные расчеты несущей способности и деформативности каменных и армокаменных конструкций выполняются по первой и второй группам предельных состояний в соответствии с требованиями и по расчетным формулам, приведенным в СП 15.13330.2012 с использованием фактических данных, полученных при обследовании конструкций.

По результатам поверочных расчетов каменные и армокаменные конструкции оцениваются как пригодные к эксплуатации без усиления и восстановления, если соблюдается условие по несущей способности:

$$F \leq F_u \cdot K_{TC}, \quad (4.1)$$

где $F$ – фактическая нагрузка, действующая на обследуемую конструкцию с учетом выявленных отклонений от расчетной схемы, принятой в проекте (продольная сила $N$, поперечная сила $Q$, изгибающий момент $M$);

$F_u$ – фактическая несущая способность армированной или неармированной кладки, определяющаяся в соответствии с указаниями [11] без учета понижающих факторов;

$K_{TC}$ – коэффициент снижения несущей способности каменной и армокаменной конструкции, учитывающий наличие дефектов производства работ, повреждений, увлажнение материалов и т.п.

При проведении поверочных расчетов несущей способности каменных и армокаменных конструкций в расчетные формулы по СП 15.13330.2012, характеризующие различные виды напряженного состояния конструкций, подставляются фактические значения прочности материалов, площадей сечений кладки арматуры и т.п.

При известной марке кирпича и раствора средний предел прочности кладки $\bar{R}$ принимается равным удвоенной величине расчетного сопротивления кладки.

Под фактической площадью сечения кладки понимается целая неповрежденная часть сечения, оставшаяся после расчистки и удаления раздробленных, размороженных или разрушенных действием огня слоев кладки.

Коэффициент снижения несущей способности каменных и армокаменных конструкций $K_{TC}$ при наличии стабилизировавшихся во времени повреждений и дефектов следует принимать:

– для стен, столбов и простенков, поврежденных вертикальными трещинами при перегрузках (исключая трещины, вызванные колебаниями температуры или осадками фундаментов) по таблице 4.1;

– для стен, столбов и простенков из полнотелого кирпича, поврежденных при пожаре, – по таблице 4.3;

– для кладки опор ферм, балок, перемычек из полнотелого кирпича, имеющих трещины, сколы и раздробления, – по таблице 4.4.

Таблица 4.1 – Коэффициенты снижения несущей способности $K_{TC}$ кладки стен, столбов и простенков, поврежденных вертикальными трещинами при стабилизации развития трещин и деформации конструкций

| Характер повреждения кладки стен, столбов и простенков | $K_{TC}$ для кладки | |
|---|---|---|
| | неармированной | армированной |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Трещины в отдельных камнях | 1,00 | 1,00 |
| 2 Волосяные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки, длиной 15 –18 см | 0,90 | 1,00 |
| 3 То же при пересечении не более четырех рядов кладки, длиной до 30 – 35 см при количестве трещин не более трех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка | 0,75 | 0,90 |
| 4 То же при пересечении не более восьми рядов кладки, длиной до 60 – 65 см при количестве трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка | 0,50 | 0,70 |
| 5 То же при пересечении более восьми рядов кладки, длиной более 60 – 65 см (расслоение кладки) при количестве трещин более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка | 0,00 | 0,50 |

***Примечание – Несущие столбы сечением 0,64×0,64 м и менее при наличии повреждений, указанных в пунктах 3-5 таблицы 4.1, должны усиливаться независимо от результатов расчета.***

Таблица 4.2 – Коэффициенты снижения несущей способности $K_{TC}$ при наличии дефектов производства работ

| Вид дефекта | $K_{TC}$ |
|---|---|
| 1 | 2 |
| 1 Отсутствие перевязки рядов кладки (тычковых рядов, арматурных сеток, каркасов):<br><br>– в 5-6 рядах (40-45 см)<br>– в 8-9 рядах (60-65 см)<br>– в 10-11 рядах (75-80 см) | <br><br><br>1,00<br>0,90<br>0,75 |
| 2 Отсутствие заполнения раствором вертикальных швов (пустошовка) | 0,90 |
| 3 При толщине горизонтальных швов более 2 см (3-4 шва на 1 м высоты кладки):<br><br>– при марке раствора шва 75 и более<br>– то же, 25-50<br>– то же, менее 25 | <br><br><br>1,00<br>0,90<br>0,80 |

Таблица 4.3 – Коэффициенты снижения несущей способности $K_{TC}$ кладки стен, простенков и столбов, поврежденных при пожаре

| Глубина слоя поврежденной кладки (без учета штукатурки), см | $K_{TC}$ для | | |
|---|---|---|---|
| | стен и простенков толщиной 38 см и более при обогреве | | столбов при размере сечения 38 см и более |
| | одностороннем | двустороннем | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| До 0,5 | 1,00 | 0,95 | 0,90 |
| До 2,0 | 0,95 | 0,90 | 0,85 |
| До 6,0 | 0,90 | 0,80 | 0,70 |

Таблица 4.4 – Коэффициенты снижения несущей способности $K_{TC}$ кладки опор ферм, балок и перемычек из полнотелого кирпича, поврежденных трещинами, имеющих сколы и раздробления

| Характер повреждения кладки опор | $K_{TC}$ для кладки | |
|---|---|---|
| | неармированной | армированной |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Местные (краевые) повреждения на глубину до 2 см (трещины, сколы, раздробления) и образование вертикальных трещин по концам балок, ферм и перемычек или опорных подушек длиной до 15-18 см | 0,75 | 0,90 |
| 2 То же, при длине трещин до 30 – 35 см | 0,50 | 0,75 |
| 3 Краевое повреждение кладки на глубину более 2 см при образовании по концам балок ферм и перемычек вертикальных и косых трещин длиной более 35 см | 0,00 | 0,50 |

Для сильно увлажненной или насыщенной водой кладки из кирпича $K_{TC} = 0{,}85$, из природных камней осадочного происхождения (известняк, песчаник) – $K_{TC} = 0{,}80$.

Поверочные расчеты по предельным состояниям второй группы выполняются в случаях, перечисленных в пункте 8.1 [11], в том числе:

– по образованию и раскрытию трещин по формуле (3.3) [11] при условии, что

$$e_0 > 0{,}7 \cdot y, \tag{4.2}$$

где $e_0$ – эксцентриситет расчетной силы $N$ относительно центра тяжести сечения;

$y$ – расстояние от центра тяжести сечения до сжатого его края;

– по деформациям растянутых поверхностей каменных поверхностей, защищенных штукатурными или иными покрытиями, по формулам (34) – (37) [11] при условии, что величина относительной деформации $\varepsilon_u$ не превышает предельных значений, приведенных в таблице 26 [11].

Поврежденные каменные и армокаменные конструкции подлежат временному усилению, если их несущая способность недостаточна для восприятия фактических действующих нагрузок на рассматриваемый элемент, т.е.

$$K_{\sigma H} \cdot F \leq \Phi \cdot K_{TC}, \tag{4.3}$$

где $F$ – фактическая нагрузка на рассматриваемую конструкцию в момент обследования;

$K_{\sigma H}$ – коэффициент безопасности ($K_{\sigma H} = 1{,}7$ – для неармированной кладки; 1,5 – для кладки с сетчатым армированием);

$\Phi$ – несущая способность конструкции без учета повреждений, определяемая по фактическим значениям площади сечении, гибкости и прочности материалов кладки;

$K_{TC}$ – коэффициент снижения несущей способности каменных конструкций при наличии повреждений (трещин, сколов, повреждений при пожаре и т.п.).

## 4.3 Содержание практической работы №2

**Определение дефектов и повреждений каменных конструкций, их влияние на эксплуатационные качества объекта экспертизы.**

**Цель:** научиться определять дефекты и повреждения каменных конструкций. По внешним характерным признакам определять вероятную причину их образования и влияние на эксплуатационную надежность (прочность, жесткость, долговечность).

**Задание:** по внешним характерным признакам дефектов и повреждений установить возможные причины их образования, используя таблицы приложения Б, категорию технического состояния; оценить несущую способность конструкции, элемента с учетом выявленных дефектов и повреждений, оцениваемых коэффициентом $K_{TC}$ (см. таблицы 4.1 – 4.4).

**Отчетный материал:** предоставить схематичное изображение на листе формата А3, А4 обследуемой конструкции (стены, столба), элемента с обозначением параметров повреждений. Устанавливается категория технического состояния конструкции по внешним признакам. Выполняется поверочный расчет конструкции с учетом дефектов и повреждений.

### 4.3.1 Вопросы для самопроверки

1 Причины образования трещин по торцам железобетонных перемычек в каменных зданиях

2 Характер развития трещин в каменной кладке наружной стены при просадке грунта в средней части стены

3 Характер развития трещин в каменной кладке стены при просадке грунта в сопряжении торцевой и продольной стен

4 Причина образования трещин в сопряжении продольных несущих и поперечных самонесущих стен

5 Характер распределения напряжений и деформаций в торцевой самонесущей и продольной внутренней несущей стенах

6 О чем свидетельствует прохождение трещины по косой штробе по вертикальным и горизонтальным растворным швам?

7 Назначение раствора в каменной кладке

8 В каких случаях образуются в наружных стенах температурные трещины?

9 О чем свидетельствует образование в наружной стене V-образной трещины?

10 Причины расслоения кладки

4.3.2 Используемая литература

[1], [2], [3],[4],[5] [8], [9], [11].

## 4.4 Численные примеры

4.4.1 Пример

Одноэтажное промышленное здание с кирпичными колоннами, наружными стенами и монолитным железобетонным перекрытием построено в середине XX века.

В связи с реконструкций проведено обследование технического состояние здания. Наружные стены толщиной 640 мм и кирпичные колонны

размером 51×51 см выполнены из глиняного кирпича на цементно-известковом растворе. Высота кирпичного столба H=3,5 м. Проведенные исследования прочности кирпича и раствора позволили определить марку кирпича М75, марку раствора М10. Колонна центрально нагружена. После реконструкции нагрузка на колонны составит N=200 кН. При обследовании колонн выявлены трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (согласно таблице 4.1 коэффициент снижения прочности кладки $k_{тс1} = 0{,}9$), отсутствие заполнения вертикальных швов (согласно таблице 4.2 коэффициент снижения несущей способности $k_{тс2} = 0{,}9$). Согласно таблице Б.2 пункта 21 трещины вызваны перегрузкой, снижением прочности материалов конструкции. Согласно таблице Б.2 приложения Б категория состояния колонн – III (ограниченно работоспособное), снижение несущей способности до 25 %. Требуется проведение поверочного расчета для определения необходимых ремонтно-восстановительных работ. В момент обследования колонна загружена силой $N = 120$ кН.

При центральном сжатии кирпичной колонны обеспечение несущей способности возможно при выполнении условия

$$N \leq N_ф = m_g \cdot \varphi \cdot R \cdot A \cdot K_{TC} = Ф8 * Ктс, \quad (4.4)$$

$$Ф = m_g \cdot \varphi \cdot R \cdot A, \quad (4.5)$$

где Ф – несущая способность конструкции без учета повреждений, определяемая по фактическим значениям площади сечении, гибкости и прочности материалов кладки;

$N_ф$ – расчетная несущая способность колонн с учетом повреждений;

$R$ – расчетное сопротивление кладки сжатию;

$m_g$ – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки;

$K_{TC}$ – понижающий коэффициент.

Расчетная высота кирпичной колонны с частичным защемлением на опорах

$$l_0 = 0{,}8 \cdot H = 0{,}8 \cdot 3{,}5 = 2{,}8 \text{ м}.$$

Гибкость колонны

$$\lambda = \frac{l_0}{h} = \frac{2{,}8}{0{,}51} = 5{,}5.$$

Упругая характеристика кладки при марке раствора М10 по СП 15.13330.2012 равна $\alpha = 500$.

По значениям $\alpha$ и $\lambda$ по СП 15.13330.2012 [11] определяют значения коэффициента продольного изгиба $\varphi = 0{,}925$.

Расчетное сопротивление кладки при марке кирпича М75, раствора М10 равно $R = 0{,}9$ МПа.

Так как площадь колонны $\text{A} = 51 \cdot 51 = 2601 \text{ см}^2 < 3000 \text{ см}^2$, вводится коэффициент условия работы $\gamma_c = 0{,}8$, при $e = 0$ коэффициент действия длительной нагрузки $m_g = 1$.

Коэффициенты, учитывающие дефекты и повреждения кладки $K_{TC1} = 0{,}9$, $K_{TC2} = 0{,}9$.

Несущая способность колонны с учетом дефектов и повреждений

$$N_ф = m_g \cdot \gamma_c \cdot \varphi \cdot R \cdot A \cdot K_{TC1} \cdot K_{TC2}, \tag{4.6}$$

$$N_ф = 1 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}925 \cdot 9 \cdot 2600 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9 = 140{,}3 \text{ кН}.$$

Несущая способность колонны не обеспечена, необходимо выполнить усиление.

Несущая способность неповрежденного столба $\Phi = 173{,}16$ кН.

Коэффициент безопасности $k_{оп} = 1{,}7$.

$$k_{оп} \cdot \Phi = 1{,}7 \cdot 173 = 294 \text{ кН} > N_{ф} = 140{,}3 \text{ кН}.$$

Поврежденная колонна требует временное усиление на период ремонтных работ.

4.4.2 Пример

В связи с надстройкой этажа требуется провести обследование и определить необходимость усиления кирпичного простенка здания.

Простенок размером $b \times h = 90 \times 51$ см выполнен по результатам испытаний кирпича и раствора из силикатного кирпичного марки М100, а марка раствора М50. Высота простенка 180 см, высота этажа $H = 3{,}0$м.

На простенок после надстройки будет действовать продольная сила $N_{пр} = 500$ кН с эксцентриситетом $e = 6$ см.

При обследовании простенка выявлены волосяные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки. Выветривание растворных швов на глубину до 1 см.

Согласно таблице Б.2 приложения Б категория технического состояния простенка II (работоспособное) снижение несущей способности до 15 %. Согласно таблице 4.1 коэффициент $K_{TC1} = 0{,}9$.

Перевязка кладки выполнения через 8 рядов кладки. Согласно таблице 4.2 коэффициент $K_{TC2} = 0{,}9$.

Момент в простенки от внецентрено приложенной нагрузки

$$M = N \cdot e = 500 \cdot 0{,}06 = 30\,\text{кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетное сопротивление кладки по СП 15.13330.2012 [11] при марке кирпича М100 и марка раствора М50 $R = 1{,}5\,\text{МПа}$, расчетная высота $l_0 = 0{,}9 \cdot H = 0{,}9 \cdot 3 = 2{,}7\,\text{м}$.

Так как

$$e_0 = 0{,}06\,\text{м} < 0{,}7 \cdot y = 0{,}7 \cdot \frac{h}{2} = 0{,}7 \cdot \frac{0{,}51}{2} = 0{,}171\,\text{м},$$

расчет по раскрытию трещин не выполняют.

Площадь простенка равна

$$A = 90 \cdot 51 = 4590\,\text{см}^2 \approx 0{,}46\,\text{м}^2 > 0{,}3\,\text{м}^2.$$

Площадь сжатой части простенка

$$A_c = A \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot e_0}{h}\right) = 4590 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 6}{51}\right) = 3510\,\text{см}^2.$$

Высота сжатой части сечения

$$h_c = h - 2 \cdot e_0 = 51 - 2 \cdot 6 = 39\,\text{см}.$$

Гибкость

$$\lambda_h = \frac{l_0}{h} = \frac{2{,}7}{0{,}51} = 5{,}3,$$

$$\lambda_{h_c} = \frac{l_0}{h_c} = \frac{2{,}7}{0{,}39} = 6{,}9.$$

Упругая характеристика кладки $\alpha = 750$.

Коэффициент $m_g$ при $h > 30$ см принимается равным 1.

Так как $h = 51$ см $> 30$ см, тогда $m_g = 1$.

По таблице СП 15.13330.2012 [11] по значениям $\lambda_h$, $\lambda_{h_c}$ и $\alpha$ находят значение $\varphi = 0{,}97$ и $\varphi_c = 0{,}93$. Тогда

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{0{,}97 + 0{,}93}{2} = 0{,}95.$$

По [11] коэффициент $\omega$ принимается не более 1,45.

$$\omega = 1 + \frac{e_0}{h} = 1 + \frac{6}{51} = 1{,}12 < 1{,}45.$$

Несущая способность простенка с учетом дефектов и повреждений

$$N_ф = m_g \cdot \gamma_c \cdot \omega \cdot R \cdot A_c \cdot K_{TC1} \cdot K_{TC2},$$

$$N_ф = 1 \cdot 0{,}95 \cdot 3510 \cdot 15 \cdot 1{,}12 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}9 = 453{,}75 \text{ кН} < N_{пр} = 500 \text{ кН}.$$

Требуется усиление простенка.

# 5 Практическая работа№3. Определение дефектов и повреждений деревянных конструкций, оценка их технического состояния

## 5.1 Характерные дефекты и повреждения деревянных конструкций

Древесина является экологически чистым, легко подающимся обработке, восстанавливаемым в природе материалом. Конструкции из древесины легкие долговечные, прочные. Наибольшее распространение древесина получила в конструкциях перекрытий, стен в индивидуальном малоэтажном строительстве, а также при устройстве строительных конструкций скатных крыш.

Наряду с многими положительными качествами древесина имеет некоторые отрицательные свойства: неоднородность строения и пороки (сучки, косослой и др.), быстрое увлажнение, набухание, низкая огнестойкость, быстрое разрушение грибами и жучками.

Основными причинами повреждений и дефектов деревянных конструкций являются:

– неправильный отбор и использование древесины в конструкциях (повышенная влажность, поражение грибками, отсутствие антисептической и огнезащитной обработки и т.п.);

– ошибки при проектировании (зыбкость перекрытий);

– недостаточное опирание несущих конструкций на каменную кладку;

– неудовлетворительная эксплуатация зданий (перегрузки, отсутствие надежного проветривания в сочетании с нарушениями тепловлажностного режима, отсутствие гидроизоляции и водоотвода и т.д.);

– естественные пороки древесины (сучки, трещины, косослой и др.);

– возгорание;

– биоповреждения;

– вредители древесины (жуки-точильщики, термиты и т.д.).

Наиболее уязвимыми местами деревянных зданий являются:

– чердаки, подполья и необитаемые подвалы из-за отсутствия или недостаточности проветривания и несоблюдения температурного режима;

– нижние брусья стен и верхние грани балок, прогонов, арок, ферм;

– стропила, обрешетка крыш, мауэрлат, ендовы и карнизные участки;

– накаты перекрытий;

– лаги и настил пола;

– перегородки;

– столярные изделия (дверные и оконные блоки, фрамуги и т.п.);

– элементы лестниц.

Характерные признаки повреждений и дефектов деревянных зданий приведены в таблице В.1 приложение В.

Детальные признаки биологического поражения строительных конструкций деревянных зданий приведены в таблице В.2 приложения В.

Деревянные конструкции и элементы, в зависимости от назначения, могут находиться под воздействием изгибающего момента, усилий сжатия, растяжения, смятия или скалывания. Каждому из этих видов силового воздействия соответствуют определенные признаки наступления предельного состояния.

Характерными 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, присучного слоя (для цельной древесины) в области действия максимального изгибающего момента; раскрытие сквозных трещин в древесине близ нейтральной оси в опорной зоне элемента; чрезмерные деформации, превышающие предельно допустимые значения (таблица В.3, приложение В);

– при растяжении - разрушение древесины с образованием защепистой поверхности, проходящей через сечения, ослабленных 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;

– утрата соединительной плотности при ослаблении стяжных болтов;

– получение соединениями деформаций, превышающих допустимые значения, указанные в табл.18 СП 64.13330.2017;

– расслаивание клееных элементов по клеевым швам.

Биологические, энтомологические воздействия на древесину также могут вывести из строя конструкции.

Признаками биологического повреждения (гниения) являются:

– наличие грибницы на поверхности им толще деревянных элементов;

– изменение цвета (побурение);

– потеря прочности, наличие продольных и поперечных трещин, изменение анизотропной структуры на трещиноватую призматическую. При этом древесина легко растирается в порошок;

– глухой звук при простукивании массивных элементов.

Признаками энтомологического поражения (уничтожения насекомыми) являются:

– наличие в деревянных элементах ходов и местных отверстий овальной или круглой формы диаметром 0,5…7 м;

– наличие бурой муки в зоне повреждения;

– глухой звук при простукивании;

– шум в деревянных конструкциях в весенне-летний период.

### 5.1.1 Трещины в древесине и их учет при оценке технического состояния деревянных конструкций

Трещины в строительных конструкциях являются одним из характерных признаков их технического состояния.

Усушечные трещины нарушают сплошность древесины, снижают механические показатели, они способствуют проникновению влаги, спор и грибов вглубь деревянного элемента.

Наименьшее снижение прочности из-за трещин происходит при сжатии вдоль волокон. Наибольшее при растяжении поперек волокон, если трещина расположена в плоскости перпендикулярной действующему усилию, а также при скалывании, если трещина совпадает с плоскостью скалывания. При изгибе наибольшее влияние на несущую способность оказывает трещина, расположенная в плоскости перпендикулярной изгибающему усилию, наименьшее – трещина, расположенная в плоскости действующего момента.

В первом случае величина снижения прочности пропорциональна уменьшению площади, работающей на скалывание под воздействием максимальных касательных напряжений (в центральной зоне) трещины не оказывают влияние на модуль упругости при растяжении и сжатии вдоль волокон, но существенно снижают его при статическом изгибе и когда плоскость трещины перпендикулярна действующему усилию.

Боковые трещины разделяют на глубокие и неглубокие. Неглубокое – несквозная трещина в круглых лесоматериалах глубиной не более 1/10 диаметра и не более 7 см, а в брусьях не более 1/10 толщины.

Глубокая несквозная трещина в круглых лесоматериалах глубиной более 1/10 диаметра, а в брусьях более 1/10 толщины бруса.

Сквозная трещина – боковая трещина, выходящая на две боковые стороны поверхности или имеющая два выхода на одну боковую сторону.

Трещины измеряют в месте наибольшей ширины стальной линейкой шириной 10 мм и толщиной 0,3мм.

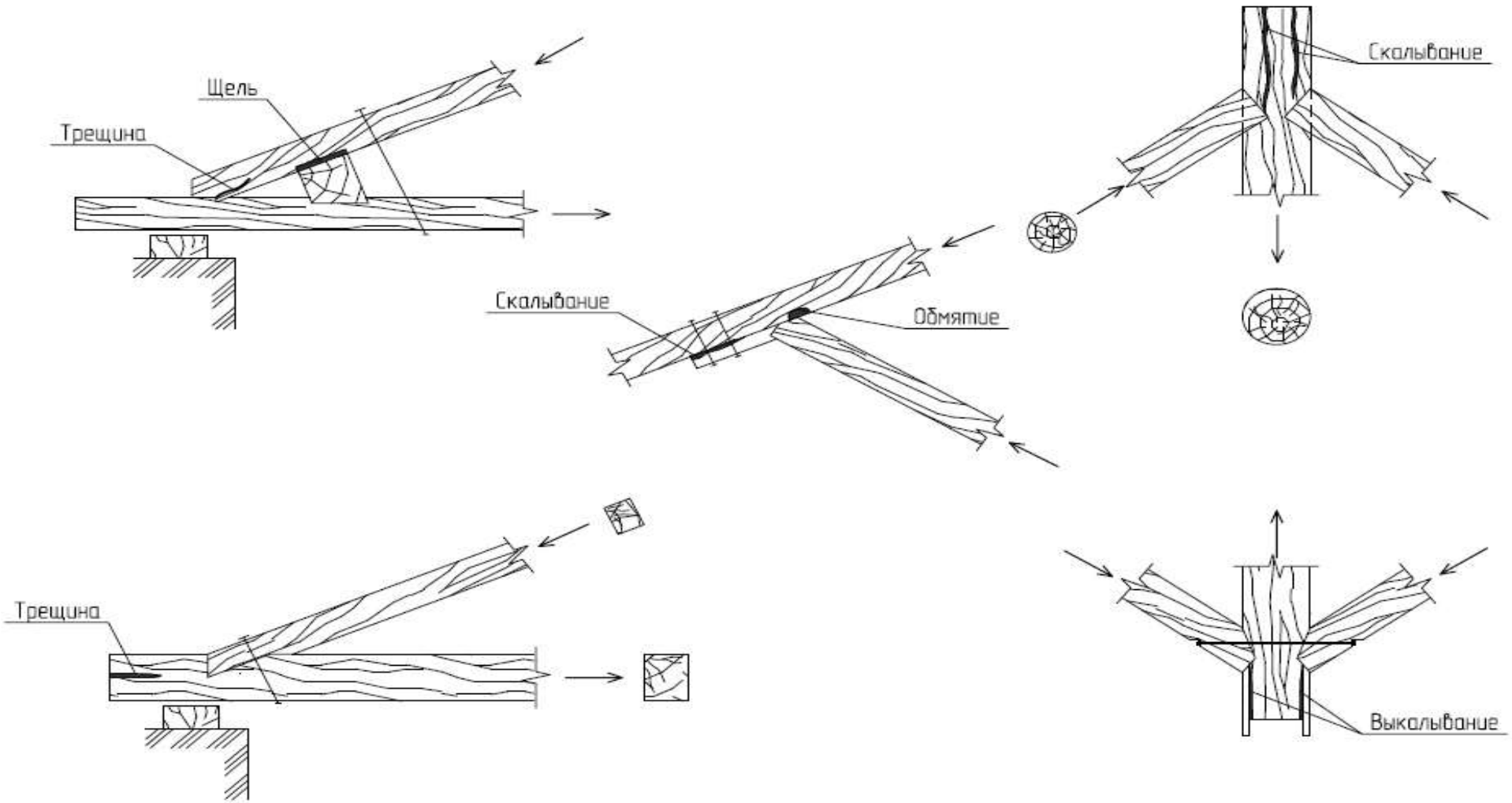



Рисунок 8 – Повреждения деревянных наслонных стропил

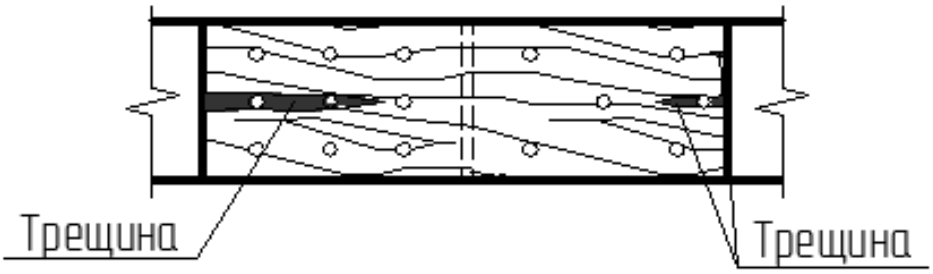



Рисунок 9 – Трещины в растянутом стыке деревянной конструкции

## 5.2 Оценка несущей способности деревянных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов

Поверочные расчеты несущей способности деревянных конструкций, их элементов и сопряжений по первой и второй группам предельных состояний выполняются в соответствии с требованиями, приведенными в разделах СП 64.13330.2017, с учетом фактических данных, полученных при проведении обследования конструкций.

При проведении поверочных расчетов несущей способности деревянных конструкций, их элементов и сопряжений следует учитывать следующие данные, полученные при обследовании конструкций:

– фактически действующие нагрузки и воздействия, а также их распределение и перераспределение с учетом выявленных отклонений фактической расчетной схемы от проектной;

– отклонения геометрической формы и размеров элементов конструкции и их сопряжений в расчетных сечениях с учетом повреждений и дефектов;

– характеристики материала элементов и сопряжений конструкций (фактическая порода, сортность и пороки древесины, биоповреждения, результаты испытаний прочностных характеристик и т.д.).

Фактические условия работы конструкции учитываются коэффициентами (п.6.9 [15]):

$m_в$ – учитывает условия эксплуатации конструкции (таблица 9 [15]);

$m_T$ – учитывает температурные условия эксплуатации: $m_T = 1$ при температуре ниже +35°С; $m_T = 0,8$ при температуре ниже +50°С. Для промежуточных значений коэффициент определяется по интерполяции.

$m_б$ – учитывает работу элементов высотой более 50 см, $m_б = 0,8...1$ принимается по таблице 10 [15];

$m_o$ – учитывает работу растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении и изгибаемых с подрезкой в расчетном сечении, $m_o = 0,8$ ( п.6.9г [15]);

$m_a$ – учитывает глубокую пропитку древесины антипиренами, $m_a = 0,8$ ( п.6.9 Д [15]);

$m_{сл}$ – учитывает толщину слоев клееных элементов при определении расчетных сопротивлений изгибу, скалыванию, сжатию вдоль волокон (таблица 11 [15]);

$m_{гн}$ – учитывает работу гнутых элементов на сжатие, растяжение, изгиб (таблица 12 [15]);

$m_{с.с.}$ – учитывает срок службы элемента, конструкции (таблица 13 [15]);

$m_{дл}$ – учитывает длительность действия нагрузки при различных режимах загружения (таблица 4 [15]);

$m_п$ – переходной коэффициент, зависящий от вида древесины и расчетных схем сопротивлений (таблица 5 [15]).

Перечисленные выше данные, полученные по результатам обследования конструкций, используются при проведении проверочных расчетов несущей способности деревянных конструкций для:

– установления фактической расчетной схемы, вида напряженного состояния и выбора соответствующих расчетных формул по первой и второй группам предельных состояний;

– назначения расчетных коэффициентов условий работы конструкций и расчетных сопротивлений древесины;

– определения фактических усилий в элементах конструкции и их сопряжениях;

– определения расчетных геометрических характеристик сечений элементов и их сопряжений (площади поперечного сечения F, моментов сопротивления W и инерции J, деформаций и т.д.)

При уточнении температурно-влажностных условий эксплуатации деревянных конструкций следует руководствоваться таблицей 1 СП 64.13330.2017.

Расчетные сопротивления древесины для различных видов напряденного состояния элементов деревянных конструкций следует принимать по таблице 3, таблице 7 СП 64.13330.2017 или по результатам испытаний образцов древесины, отобранных из конструкции.

В деревянных конструкциях построечного изготовления расчетные сопротивления древесины на растяжение следует снижать на 30 %. Прогиб деревянных конструкций, вычисленных с учетом полученных при обследовании физико-механических характеристик и выявленных дефектов, и повреждений не должен превышать предельного допустимых значений по СП 20.1330.2016 [5].

Таблица 5.1 – Предельные прогибы деревянных конструкций

| Элементы конструкций | Предельные прогибы в долях пролета, не более |
|---|---|
| 1 | 2 |
| 1.Балки междуэтажных перекрытий | 1/250 |
| 2.Балки чердачных перекрытий | 1/200 |
| 3.Покрытия (кроме ендов): | |
| а) прогоны, стропильные ноги | 1/200 |
| б) балки консольные | 1/150 |
| в) фермы, клееные балки (кроме консольных) | 1/300 |
| г) плиты | 1/250 |
| д) обрешетки, настилы | 1/150 |
| 4.Несущие элементы ендов | 1/400 |
| 5.Панели и элементы фахверка | 1/250 |

Расчетные сопротивления древесины сосны, ели и лиственницы европейской отсортированной по сортам следует определять по формуле

$$R^P = R^A \cdot m_{дл} \cdot \Pi_{mi}, \qquad (5.1)$$

где $R^A$ – расчетное сопротивление древесины, МПа, приведенной в таблице 3 [15];

$m_{дл}$ – коэффициент длительной прочности (таблица 4 [15]);

$\Pi_{mi}$ – произведение коэффициентов условий работы (п.6.9 [15]).

Расчетные сопротивления для других пород древесины устанавливают путем умножения величин, приведенных в таблице 3 [15], на переходные коэффициенты $m_n$ (таблица 5 [15]).

При определении расчетной несущей способности деревянной конструкции расчетные сопротивления древесины $R^P$, приведенные в таблице 3 СП 64.13330.2017 [15] приводят к расчетному сопротивлению при фактической влажности ($R_u$)

$$R_u = \frac{R^p}{1+\alpha\cdot(W-12)}, \tag{5.2}$$

где $W$ – влажность древесины конструкции на момент обследования, в %;

$\alpha$ – поправочный коэффициент. При статическом изгибе и сжатии вдоль волокон $\alpha = 0,04$ для всех пород. При растяжении вдоль волокон $\alpha = 0,01$, при растяжении поперек волокон в радиальном направлении $\alpha = 0,01$, в тангенциальном направлении $\alpha = 0,025$, при скалывании вдоль и поперек волокон и срезе поперек волокон $\alpha = 0,03$, для сопротивления раскалыванию $\alpha = 0,02$, при сжатии и снятии поперек волокон $\alpha = 0,035$.

Практически при изменении влажности на 1% прочность древесины (кроме растяжения) меняется на 3–5%.

При температуре ниже нуля предел прочности древесины при любой влажности повышается: при поперечном изгибе – на 40%; сжатии -30%; скалывании – 70 %. Древесина при этом становится хрупкой.

При определении механических характеристик древесины по лабораторным испытаниям образцов расчетное сопротивление древесины определяют по формуле

$$R_д = \frac{R_д^н}{K}\cdot C, \tag{5.3}$$

где $R_д^н$ – действительное нормативное сопротивление древесины конструкции по результатам испытаний;

$K$ – коэффициент безопасности равный: 3,8 – при изгибе; 5,5 - при растяжении вдоль волокон; 2,2 – при сжатии и смятии вдоль волокон; 1,8 – при сжатии и смятии поперек волокон;

$C$ – коэффициент, учитывающий сортность древесины, и равный: 1 для первого сорта; 0,94 – для второго сорта; 0,65 – для третьего сорта.

Сортность древесины определяют по таблице В.4, приложение В.

Прочность деревянной балки цельного сечения с боковыми трещинами проверяют на скалывание по формуле

$$\tau = \frac{Q \cdot S_{су}}{J \cdot в_{нт}} \leq R_{ск}, \qquad (5.4)$$

где $Q$ – поперечная сила в сечении, ослабленная трещинами;

$S_{су}$ – статический момент сдвигаемый части относительно оси;

$J$ – момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси (н.о.);

$в_{нт}$ – ширина балки по оси трещины (рисунок 10).

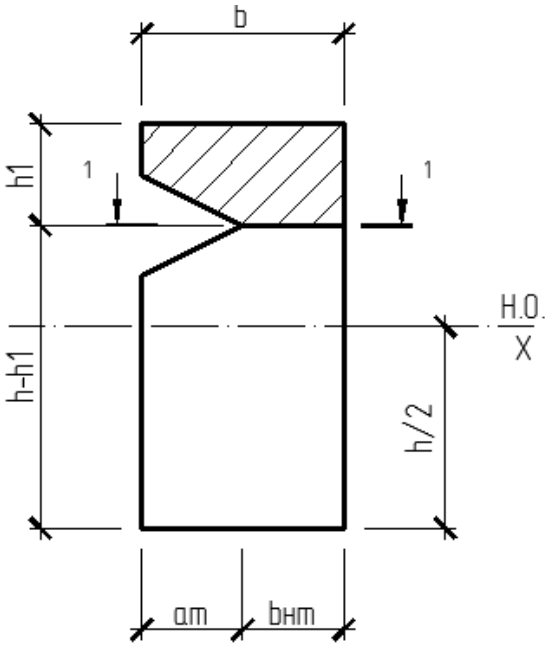



Рисунок 10 – Сечение с боковой трещиной

Прогиб балки с боковыми трещинами на длине не менее 0,5 пролета балки определяют с учетом коэффициента сдвига.

Для свободно опертой балки при равномерно распределенной нагрузке по всему пролету полный прогиб то изгиба и поперечной силы в середине пролета $f$ определяется по формуле

$$f = \frac{5 \cdot q^{н} \cdot l^{4}}{384 \cdot E \cdot J} + \frac{\alpha_{cg} \cdot q^{н} \cdot l}{8 \cdot G \cdot E} \cdot \beta, \qquad (5.5)$$

При действии сосредоточенной нагрузки в середине пролета

$$f = \frac{\rho^{н} \cdot l^{3}}{48 \cdot E \cdot J} + \frac{\alpha_{cg} \cdot \rho^{н} \cdot l}{2 \cdot G \cdot F} \cdot \beta, \qquad (5.6)$$

где $q^{н}$ и $\rho^{н}$ – нормативная нагрузка соответственно равномерно распределенная и сосредоточенная;

$E, G$ – модуль упругости вдоль волокон и сдвига;

$F$ – площадь поперечного сечения балки;

$\beta$ – коэффициент, учитывающий наличие трещин и равный для прямоугольного сечения $\beta = \frac{в}{в_{нт}}$, для круглого сортамента $\beta = \frac{D}{в_{нт}}$, где $в_{нт}$ - ширина сечения за вычетом ширины трещин, $D$ - диаметр древесины;

$\alpha_{cg}$ – коэффициент сдвига, для прямоугольного сечения $\alpha_{cg} = 1,5$, для круглого $\alpha_{cg} = 1,33$.

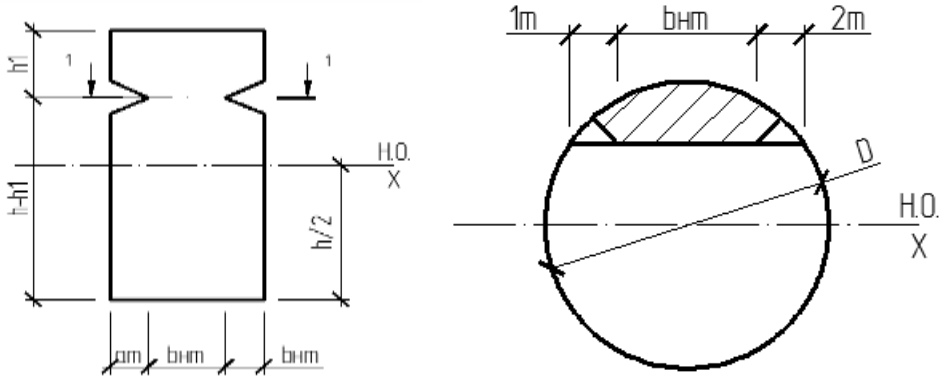



Рисунок 11 – Прямоугольное и круглое сечение

### 5.3 Содержание практической работы №3

**Определение дефектов и повреждений деревянных конструкций, их влияние на эксплуатационные качества объектов экспертизы**.

**Цель:** научиться определять дефекты и повреждения деревянных конструкций по внешним характерным признакам, устанавливать вероятную причину их образования и влияние на эксплуатационную надежность (прочность, жесткость, долговечность).

**Задание:** по внешним характерным признакам дефектов и повреждений установить категорию технического состояния, возможные причины их образования и оценить несущую способность конструкции, элемента с учетом дефектов и повреждений.

**Отчетный материал:** на схематичном изображении обследуемой деревянной конструкции, элемента, на листе формата А3, приводятся выявленная дефекты и повреждения с указанием их параметров. Глубина, длина и ширина раскрытия трещин, значение прогиба, положение и ориентацию сквозных трещин, глубину и размеры участков, пораженных грибами, жуками, огнем. Приводится, установленная по внешним признакам категория технического состояния конструкции. Приводится выполненный поверочный расчет конструкции с учетом дефектов и повреждений.

5.3.1. Вопросы для самоконтроля

1 Основные причины загнивания и поражения грибами деревянных конструкций.

2 Характерные внешние признаки перегрузки деревянной балки.

3 Характерные внешние признаки перенапряжения растянутого деревянного элемента.

4 Характерные внешние признаки перенапряжения сжатого деревянного элемента.

5 Характерные внешние признаки биологического повреждения.

6 Характерные внешние признаки поражения насекомыми.

7 Основные пороки древесины.

8 Наиболее уязвимые места деревянных зданий.

9 Положительные качества древесины для строительных конструкций.

10 Каким образом в поверочных расчетах учитывается влияние на прочность фактической влажности деревянных конструкций и длительность действия нагрузки.

5.3.2 Используемая литература

[1], [2], [3], [ 5], [8], [9], [15].

**5.4 Численные примеры**

5.4.1 Пример

В связи с планируемой реконструкцией здания и изменение нагрузок необходимо провести обследование деревянной балки на предмет необходимости усиления.

Балка постоянного сечения $b \times h = 14,2см \times 59,5см$ пролетом $9м$ склеена из сосновых досок 2 сорта толщиной 35 мм. Предполагается увеличение нагрузки после реконструкции до 12,0кН/м.

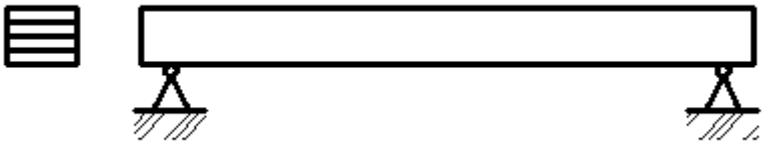


Рисунок 12 – Принципиальная схема балки

Конструкция эксплуатируется в отапливаемом помещении. Класс условий эксплуатаций 2 (нормальный) таблица 1 [15].

Расчетное сопротивление

$$R^P = R_u^A \cdot m_{дл} \cdot П_{mi},$$

где $R_u^A$ – расчетное сопротивление для сортов древесины, по таблице 3 [15] для 2-го сорта древесины $R_u^A = 19,5 МПа$;

$m_{дл}$ – коэффициент длительной прочности для режима загружения В по таблице 4 [15] $m_{дл} = 0,66$;

$П_{mi}$ – коэффициенты условий работы (п.6.9 [15]);

$m_в = 0,9$ условия эксплуатации 2 (таблица 9 [15]);

$m_б = 0,96$ высота балки 59,5 см (таблица 10 [15]);

Расчетное сопротивление древесины балки

$$R_A^P = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 0,9 \cdot 0,96 = 11,12 МПа.$$

Момент сопротивления сечения

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{14,2 \cdot 59,5^2}{6} = 8378\ м^2.$$

Фактическая несущая способность балки

$$M^ф = R_A^P \cdot W = 11,12 \cdot 8378 \cdot 10^{-4} = 93,16\ кНм.$$

Предельная нагрузка, которую может выдержать свободно опертая балка из условия

$$M = \frac{q \cdot l^2}{g},$$

$$g = \frac{8 \cdot M}{l^2} = \frac{8 \cdot 93{,}16}{9^2} = 9{,}2 \ \ кН / м.$$

Несущая способность балки при увеличении нагрузки после реконструкции не обеспечивается. Требуется усиление конструкции.

5.4.2 Пример

Проверить прочность деревянной подвески строения, ослабленной двумя врубками $h_{вр} = 3{,}5 \ см$, боковыми стесками $h_{ст} = 1 \ см$ и отверстиями для болта $d16$. Диаметр бревна $D = 16 \ см$, растягивающая сила $N = 77 \ кН$. Древесина 1 сорта. Расчетное сопротивление растяжению вдоль волокон для I сорта древесины по таблице 3 [15] $R_P^A = 15 \ МПа$

Расчетное сопротивление древесины

$$R^P = R_P^A \cdot m_{дл} \cdot П_{mi},$$

где $m_{дл}$ – по таблице 4 [15] для режима В $m_{дл} = 0{,}66$ (совместное действие постоянной и кратковременной силовой нагрузки).

Для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении $m_0 = 0{,}8$ (таблица 6.9.2 [15])

$$R^P = 15 \cdot 0{,}66 \cdot 0{,}8 = 7{,}92 \ МПа$$

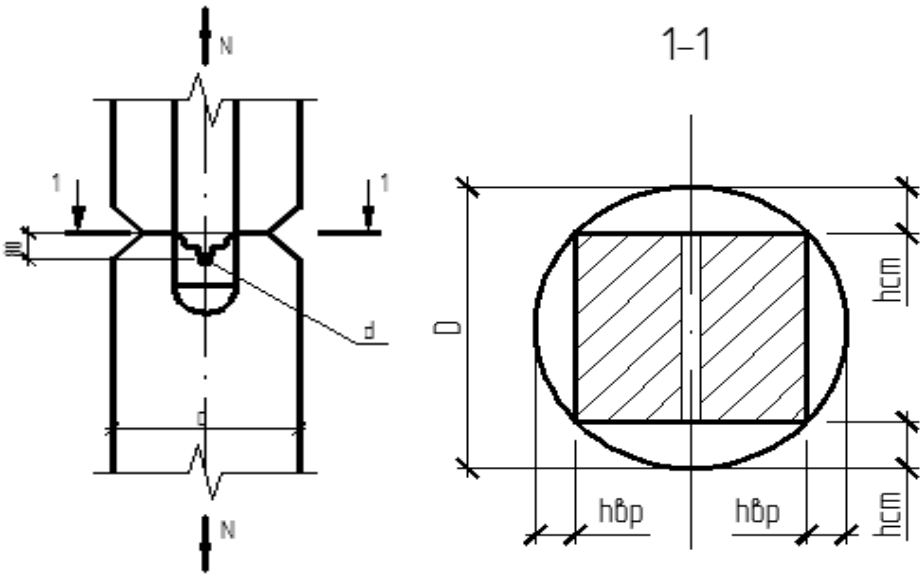



Рисунок 13 – Конструктивная схема

Площадь сечения брутто

$$F_{бр} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 16^2}{4} = 201\ см^2.$$

Площадь сегмента при глубине врубки

$$h_{вр} = 3{,}5\ см, \qquad F_1 = 32{,}5\ см^2.$$

Площадь сегмента при глубине стески

$$h_{ст} = 1 см, \qquad F_2 = 5{,}24\ см^2.$$

Так как между ослабленными врубками и ослаблением отверстиями для болта расстояние 8 см<20 см, то условно принимают эти ослабления совмещенными в одном сечении.

Площадь ослабления отверстием для болта

$$F_{нт} = d \cdot (D - 2 \cdot h_{ст}) = 1,6 \cdot (16 - 2 \cdot 1) = 22,4\ см^2.$$

Площадь сечения стержня нетто за вычетом всех ослаблений

$$F_{нт} = F_{бр} - F_{осн} = 201 - 2 \cdot 32,5 - 2 \cdot 5,24 - 24 = 103\ см^2.$$

Напряжение растяжения

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} = \frac{77}{103} = 7,5 МПа < 7,92 МПа.$$

Несущая способность подвески обеспечивается.

# 6 Практическая работа № 4. Определение дефектов и повреждений стальных конструкций, их влияние на эксплуатационные качества объекта экспертизы

## 6.1 Характерные дефекты и повреждения стальных конструкций

Стальные конструкции получили широкое распространение в практике строительства гражданских и промышленных зданий как непосредственно в виде строительных конструкций (балки, колонны, фермы, пространственные, листовые конструкции), так и в виде элементов, деталей (закладные детали, арматура и др.).

Применяемый в строительных конструкциях стальной прокатный или гнутый профиль по своим геометрическим параметрам обеспечивает наиболее рациональное использование металла при работе на сжатие, изгиб, растяжение. Применений стальных профилей в конструкциях с одной стороны обеспечивает большую экономию металла, с другой стороны делает их весьма уязвимыми при воздействии агрессивной среды, случайном механическом воздействии при транспортировке, монтаже, эксплуатации.

Обладая высокой несущей способностью и надёжностью, удобностью при эксплуатации стальные конструкции обладают низкой коррозионной стойкостью и жизнестойкостью. В результате несовершенства норм, ошибок проектирования, низкого качества эксплуатации и изготовления конструкции возникает вероятность наступления предельного состояния.

Характер разрушения стальных конструкций может быть вязким, при нагружении пластичного материала с превышением предела упругости. Разрушения такого рода могут вызывать чрезмерные напряжения сжатия, растяжения, сдвига.

Хрупкое разрушение происходит в конструкциях из металлических материалов с ограниченной пластичностью вследствие воздействия быстрого распространения в них трещин. Причиной хрупкого разрушения могут быть низкие температуры, ниже температурные переходы, когда стали теряют пластичность.

Усталостное разрушение может вызвать многократно повторяющаяся нагрузка. Причиной разрушения может послужить ползучесть, при которой происходит постепенное накапливание повреждений при повышенных температурах.

Наступление предельного состояния может быть вызвано коррозионным растрескиванием (межкристаллическая коррозия), а также коррозией в виде постепенного повреждения и разрушения, вызванного растворением и окислением металла в агрессивной среде.

Разрушение металлических конструкций, за исключением случая хрупкого разрушения, предшествуют значительные деформации, превышающие предельно допустимые значения (таблица Г.5, приложение Г).

Характерными повреждениями отдельных конструкций являются (таблица Г.1, Г.2, Г.3, Г.4, приложение Г):

– отклонение от проектного положения;

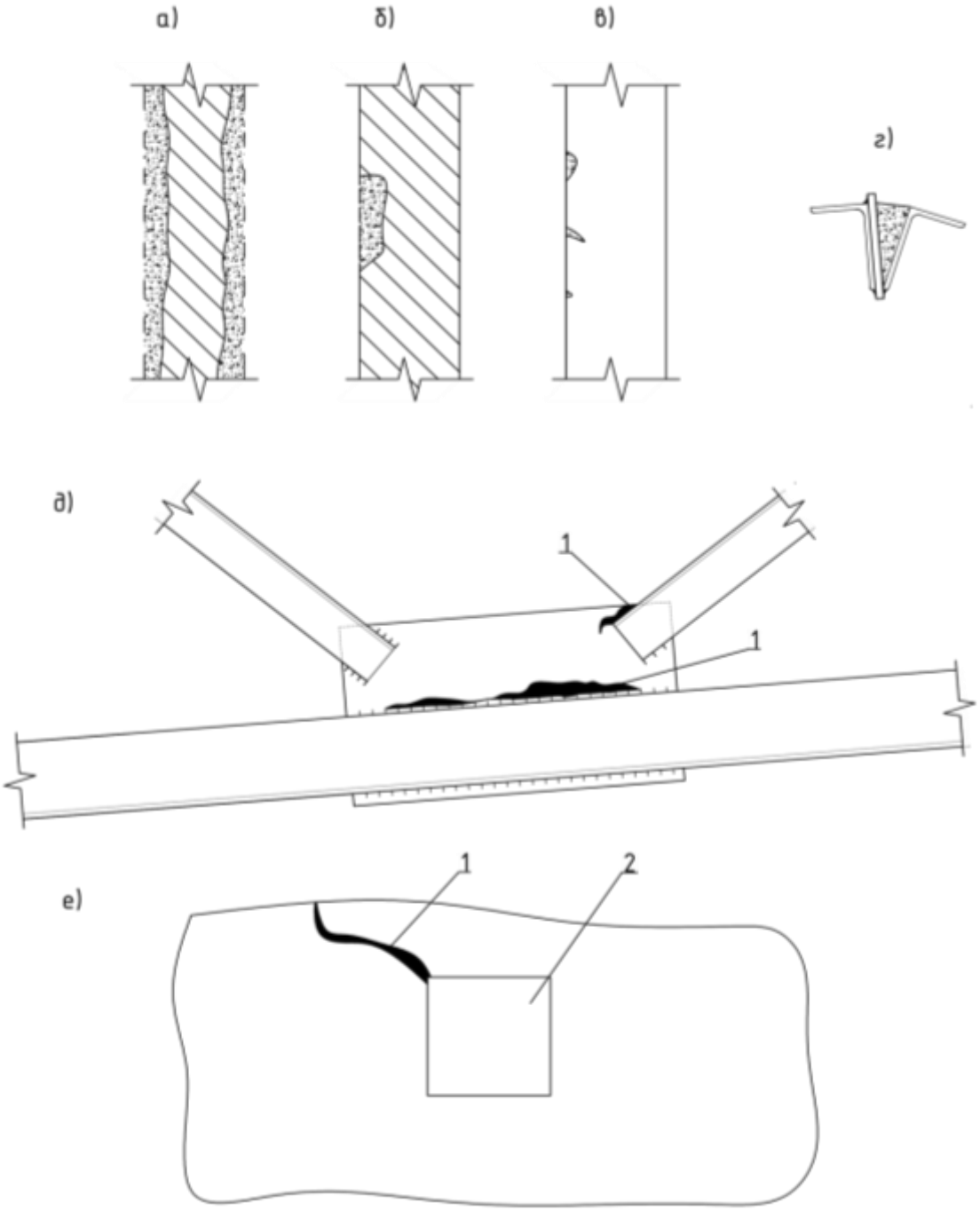
– деформации элементов и стыковочных узлов;

– коррозия металла;

– воздействие высоких температур;

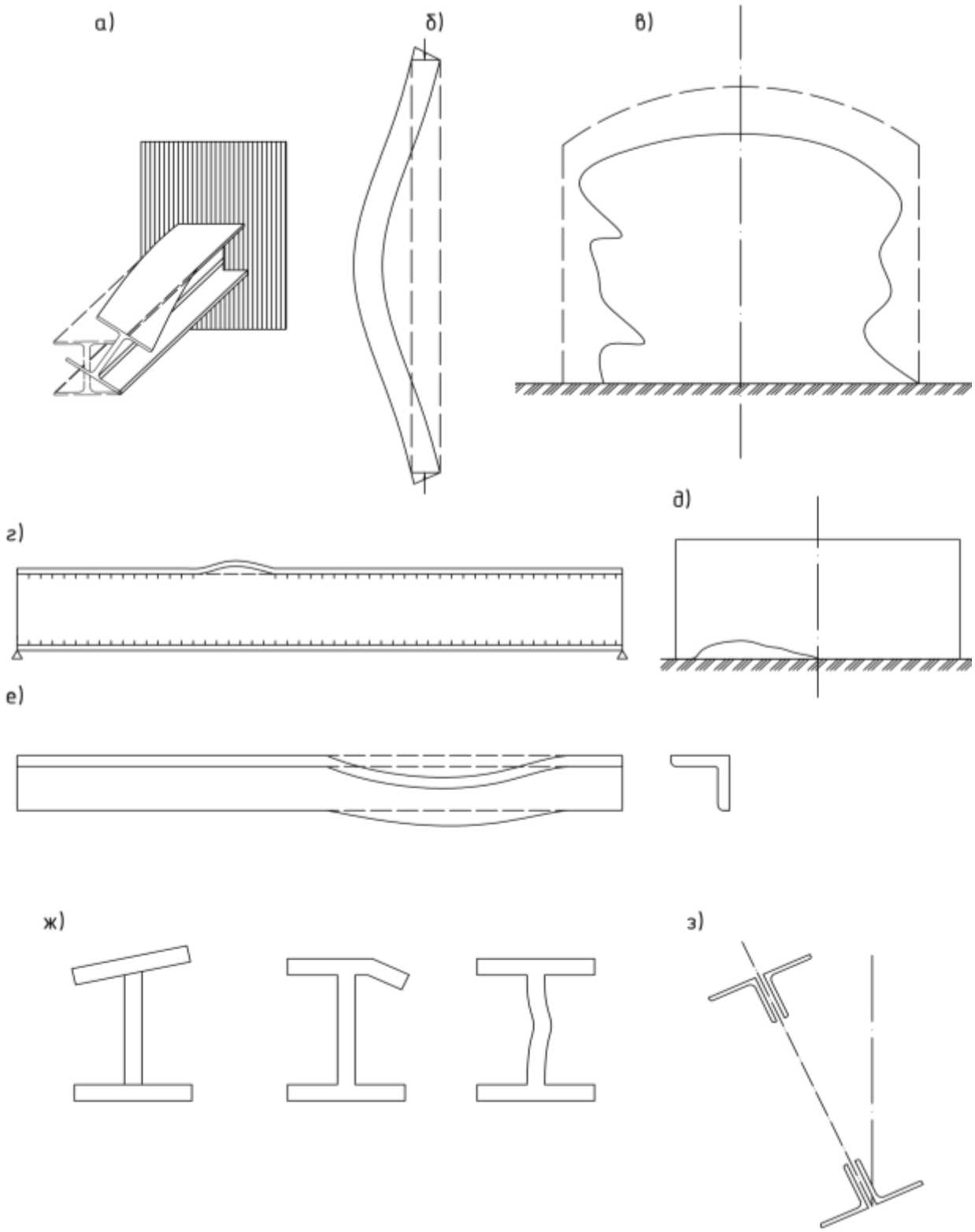
– перенапряжение конструкции.

Характерные повреждения стальных конструкций указаны на рисунках 14, 15.




а – общая потеря устойчивости балки; б –тоже стойки; в – тоже резервуара;
г – местная потеря устойчивости сжатого пояса балки; д – тоже днище резервуара (хлопун);
е – механическое повреждение элемента (погнутость) в его плоскости; ж – тоже элементов;
з – отклонение фермы от вертикали.

Рисунок 14 – Повреждение стальных конструкций




Коррозия элементов: а – общая; б – местная; в – язвенная; г – щелевая; д – трещины в фасонке по металлу и сварному шву; е – трещины в резервуаре по краю отверстия.

1 – трещина; 2 – квадратное отверстие.

Рисунок 15 – Повреждение стальных конструкций

## 6.2 Оценка несущей способности стальных конструкций с учетом дефектов и повреждений по результатам поверочных расчетов

Поверочные расчеты несущей способности стальных конструкций, их элементов и соединений по первой и второй группам предельных состояний выполняются в соответствии с требованиями, приведенными в разделах 5 – 13, 18 [12].

При выполнении поверочных расчетов несущей способности стальных конструкций, их элементов, сопряжений и узлов опирания необходимо, в соответствии с п. 18.1.1 [12] учитывать установленные по результатам обследований следующие данные:

– фактические расчетные схемы, отклонения геометрической формы и размеров сечений;

– действительные условия работы элементов стальных конструкций и их сопряжений, а также условия закрепления и выполнения узлов сопряжений и опирания;

– фактические нагрузки и воздействия;

– повреждения, дефекты и коррозионный износ элементов конструкций и их сопряжений;

– фактические прочностные характеристики материала элементов стальных конструкций и их сопряжений.

Перечисленные выше данные используют при:

– установлении фактического напряжения состояния элементов конструкций и применении расчетных формул, соответствующих установленному напряженному состоянию;

– определение фактических усилий в элементах конструкций и их сопряжений (продольной силы $N$, изгибающего момента $M$, поперечной силы $Q$);

– определении фактических расчетных характеристик, рассматриваемых сечений элементов конструкций и их сопряжений (площади сечений нетто $A_n$; моментов сопротивления нетто $W_{xn}$ и $W_{yn}$; моментов инерции $J_{xn}$ и $J_{yn}$);

– назначении соответствующих расчетных сопротивлений материала в соответствии с таблицей В.3, В.4, В.5 приложения В [12].

В общем случае проверка несущей способности центрально-растянутых и центрально-сжатых элементов стальных конструкций, имеющих ослабления сечений, производится по формуле

$$F < A_n\left(R_{yn}R_{un}\gamma_m\gamma_c\varphi\right), \tag{6.1}$$

где $F -$ фактическая нагрузка ,действующая а рассматриваемую конструкцию и установленная по результатам обследования;

$A_n$– фактическая площадь поперечного сечения с учетом ослаблений от разрывов, вырезов, подрезов, коррозии и т.п.;

$R_{yn}$– предел текучести стали, применяемый равным значению предела текучести $\sigma_{\text{Т}}$ по ГОСТ или ТУ на сталь по результатам испытаний образцов;

$\gamma_m$, $\gamma_c$, $\varphi$ – соответственно расчётные коэффициенты по материалу, условий работы и продольного изгиба, уточняемые по соответствующим таблицам СП 16. 13330. 2016 на основе результатов обследования.

Площадь поперечного сечения, ослабленного коррозией, определяется по формуле

$$A_n < A_0(1 - K_{SA} \cdot \Delta^*), \tag{6.2}$$

где $A_0$ – площадь неослабленного поперченного сечения;

$K_{SA}$ – коэффициент слитности сечения, равный отношению периметра, контактирующего со средой, к площади поперечного сечения, мм$^{-1}$.

Приближенно величину коэффициента $K_{SA}$ можно принимать равной для:

– уголков – $2/t$;

– швеллеров и двутавров – $4/(t+d)$;

– замкнутых профилей – $1/t$.

где $t$ и $d$ – соответственно толщина полки и стенки, мм;

$\Delta^*$– величина проникновения коррозии замкнутых профилей и $\Delta^* = \Delta$ при односторонней коррозии замкнутых профилей и $\Delta^* = 0{,}5\Delta$ при двусторонней коррозии открытых профилей (уголков, швеллеров, двутавров и т.д.);

$\Delta$ – уменьшение толщины элемента (утонение), равное разнице между начальной и фактической толщиной элемента конструкции, мм.

Таблица 6.1 – Коэффициент изменения момента сопротивления при коррозии

| Швеллеры | | | Двутавры | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Номер профиля | $k_{swx}$ | $k_{swy}$ | Номер профиля | $k_{swx}$ | $k_{swy}$ |
| 12 | 0,29 | 0.27 | 20 | 0.26 | 0.24 |
| 14 | 0.28 | 0.26 | 22 | 0.25 | 0.23 |
| 16 | 0.27 | 0.25 | 24 | 0.24 | 0.21 |
| 16а | 0.25 | 0.24 | 27 | 0.23 | 0.2 |
| 18 | 0.26 | 0.25 | 27а | 0.22 | 0.2 |
| 20 | 0.25 | 0.24 | 30 | 0.22 | 0.2 |
| 22 | 0.24 | 0.23 | 30а | 0.21 | 0.19 |
| 24 | 0.23 | 0.22 | 36 | 0.18 | 0.16 |
| 27 | 0.22 | 0.2 | 40 | 0.17 | 0.15 |
| 30 | 0.21 | 0.19 | 50 | 0.15 | 0.13 |
| 36 | 0.18 | 0.17 | 60 | 0.13 | 0.11 |

Проверка несущей способности изгибаемых элементов конструкции с ослабленным сечением производится по формуле

$$M \leq W_n R_{yn} R_{un} \gamma_m \gamma_c, \tag{6.3}$$

где $M$ – изгибающий момент фактический от действующей нагрузки с учетом отклонений расчетной схемы от проектной;

$W_n$ – фактический момент сопротивления с учетом ослаблений (разрывов, вырезов, подрезов, коррозии и т.д.).

Проверка прочности при несимметричном ослаблении сечения, а также для внецентренно растянутых и внецентренно сжатых элементов производится по площади нетто с учетом эксцентриситета от смещения центра тяжести ослабленного сечения относительно центра тяжести первоначального сечения с использованием компенсирующих добавок усилий по формуле

$$\left(\frac{N+N^{осл}}{A_n R_y \gamma_c}\right)^n + \frac{(M_x+M_x^{осл})y_c}{c_x J_x M_y \gamma_c} + \frac{(M_y+M_y^{осл})x_c}{c_y J_y R_y \gamma_c} \leq 1, \tag{6.4}$$

где компенсирующие добавки усилий равны

$$N^{осл} = \sigma^{осл} A^{осл};\ M_x^{осл} = N^{осл} y^{осл};\ M_y^{осл} = N^{осл} x^{осл}; \tag{6.5}$$

$$\sigma^{осл} = \sigma_F \left(1 - \frac{A^{осл}}{A} - \frac{J_x^{осл}}{J_x} - \frac{J_y^{осл}}{J_y}\right)^{-1}. \tag{6.6}$$

где $X_c, y_c$ – координаты наиболее напряженной точки реального поперечного сечения относительно осей $x-x$ и $y-y$ неослабленного сечения;

$A, J_x, J_y$ – геометрические характеристики неослабленного сечения;

$x^{осл}, y^{осл}$ – координаты центра тяжести площади ослабления $A^{осл}$ в осях $x-x$ и $y-y$;

$R_y$ – расчетное сопротивление стали по пределу текучести;

$J_x^{осл}, J_y^{осл}$ – моменты инерции ослабления;

$\sigma_F = \frac{N}{A} + \frac{M_x y^{осл}}{J_x} + \frac{M_y x^{осл}}{J_y}$ – напряжение в центре тяжести площади ослабления $A^{осл}$, вычисленное для неослабленного сечения при действии заданных усилий;

$n, c_x, c_y$ – их значения принимают по таблице Е.1 приложение Е как для неослабленного сечения.

Сжатые сплошностенчатые элементы, имеющие общее искривление, рассчитываются как внецентренно-сжатые, при этом приведенный эксцентриситет определяют по формуле

$$m_{ef} = K_\eta m_f, \tag{6.7}$$

где

$$m_f = \frac{f_0 A}{W}, \tag{6.8}$$

где $f_0$ – стрелка искривления стержня в ненагруженном состоянии;

$A$ – расчетная площадь поперечного неослабленного сечения;

$K_\eta$ – коэффициент, определяемый по формуле

$$K = 0{,}82 + 0{,}1\sqrt{\eta m_f}/\lambda, \tag{6.9}$$

где $\lambda$ – условная гибкость стержня в плоскости искривления, принимаемая по таблице 9 с учетом требований п. 7.3.1…7.3.11 [12].

$\eta$ – коэффициент влияния формы сечения, принимаемый по таблице Д.2 приложения Д [12].

$W$ – момент сопротивления неослабленного сечения.

Стрелка искривления стержня в ненагруженном состоянии определяется по формуле

$$f_0 = \psi_0 f_{из}, \tag{6.10}$$

где $f_{из}$ – полная стрелка искривления, замеренная при обследовании;

$\psi_0$ – поправочный коэффициент $(0 \leq \psi_0 \leq 1)$, вычисляемый по формуле

$$\psi_0 = 1 - \frac{0{,}1\lambda^2\sigma'}{R_y}, \tag{6.11}$$

где $\sigma'$ – напряжение в стержне в момент замера стрелки $f_{из}$, определяемое по формуле

$$\sigma' = \frac{N}{A} \leq \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}. \tag{6.12}$$

В случае если усилие $N$ в стержне в момент замера стрелки искривления невозможно определить, следует принимать $\psi_0 = 1$.

По результатам поверочных расчетов элементы стальных конструкций оцениваются как не требующие усиления или замены, если соблюдены требования, изложенные в разделе 5…13, 18 [12].

## 6.3 Содержание практической работы №4

**Определение дефектов и повреждений стальных конструкций, их влияние на эксплуатационные качества объекта экспертизы.**

**Цель:** научиться определять дефекты и повреждения стальных конструкций. По внешним характерным признакам определять вероятную

причину их образования и влияние на эксплуатационную надежность (прочность, жесткость, долговечность).

**Задание:** по внешним характерным признакам дефектов и повреждений установить возможные причины их образования, используя таблицы приложения Г, категорию технического состояния и оценить несущую способность конструкции, элемента с учетом дефектов и повреждений.

**Отчетный материал:** представить схематическое изображение на листе формата А4, А3 обследуемой конструкции, элемента с обозначением параметров повреждения. Устанавливается категория технического состояния конструкции по внешним признакам. Выполняется поверочный расчет конструкции с учетом дефектов и повреждений.

### 6.3.1 Вопросы для самопроверки

1 Характерные признаки перегрузки стальных двутавровых балок перекрытия.

2 Характерные дефекты стальных ферм.

3 Характерные повреждения сжатых стальных элементов.

4 Характерные дефекты сварных швов.

5 Характерные дефекты болтовых соединений.

6 Характеризующие работоспособное состояние стальных конструкций дефекты и повреждения.

7 Характеризующие ограниченно работоспособное состояние стальных конструкций дефекты и повреждения.

8 Влияние потери местной устойчивости на сжатый металлический элемент.

9 Характерные дефекты и повреждения изгибаемых стальных конструкций.

10 Причины образования дефектов и повреждений в стальных конструкциях.

6.3.2 Используемая литература

[1], [2], [3], [4], [8], [9], [12], [16].

## 6.4 Численные примеры

6.4.1 Пример

Проверить прочность несущего элемента в ослабленном сечении, изготовленного из стального прокатного двутавра №30 по ГОСТ 8239-89. $A = 46{,}5\ \text{см}^2$; $W_x = 472\ \text{см}^3$; $J_x = 7080\ \text{см}^4$. Предел текучести по сертификату 345 МПа. Площадь ослабления $A^{\text{осл}} = 3{,}3\ \text{см}^2$. Расстояние от главной центральной оси до центра тяжести площади ослабления $y^{\text{осл}} = 14{,}7\ \text{см}$. Усилия, действующие в расчетном сечении $M_x = 102\ \text{кН} \cdot \text{м}; N = 400\ \text{кН}$.

Решение

Напряжения, которые могли быть в месте дефекта до ослабления сечения

$$\sigma_f = \frac{N}{A} + \frac{M_x \cdot y^{\text{осл}}}{I_x} = \frac{400}{46{,}5} + \frac{10200 \cdot 14{,}7}{7080} = 29{,}78\ \text{кН/см}^2.$$

Напряжения ослабления в месте дефекта и соответствующие компенсирующие добавки усилий по формуле (5.6) равны

$$\sigma^{осл} = \sigma_F \left(1 - \frac{A^{осл}}{A} - \frac{J_x^{осл}}{J_x} - \frac{J_y^{осл}}{J_y}\right)^{-1} = \frac{29{,}78}{(1 - 0{,}071 - 0{,}1)} = 35{,}92 \text{ кН/см}^2,$$

$$\frac{I_x^{осл}}{I_x} = \frac{A^{осл} \cdot (y^{осл})^2}{J_x} = \frac{3{,}3 \cdot 14{,}7^2}{7080} = 0{,}1;\ N^{осл} = \sigma^{осл} A^{осл} = 33{,}67 \cdot 3{,}3 =$$
$$= 111{,}11 \text{ кН};\ M_x^{осл} = N^{осл} y^{осл} = 111{,}11 \cdot 0{,}147 = 16{,}33 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетное сопротивление стали

$$R_{yo} = \frac{\sigma_m}{\gamma_m} = \frac{34{,}5}{1{,}1} = 31{,}36 \text{ кН/см}^2,$$

где $\gamma_m = 1{,}1$, так как сталь изготовлена до 1982 г.

Проверка прочности элемента в ослабленном сечении по формуле (6.4)

$$\left(\frac{N + N^{осл}}{A_n R_{yo} \gamma_c}\right)^n + \frac{(M_x + M_x^{осл}) y_c}{c_x J_x R_{yo} \gamma_c} = \left(\frac{400 + 111{,}11}{46{,}5 \cdot 31{,}36 \cdot 0{,}9}\right)^{1{,}5} + \frac{(10200 + 1633)14{,}7}{1{,}12 \cdot 7080 \cdot 31{,}36 \cdot 0{,}9}$$
$$= 0{,}243 + 0{,}777 = 1{,}02 > 1.$$

Условие не выполняется, следовательно, требуется проведение мероприятий по ограничению нагрузки либо по усилению конструкции.

### 6.4.2 Пример

Проверить прочность нижнего пояса стальной фермы из двух спаренных уголков $75 \times 50 \times 8$ мм, имеющих равномерный коррозионный износ с

глубиной проникновения $\Delta^* = 0{,}73$ мм. Сталь прокатная угловая, выполнена по ГОСТ 8510-86. $A = 18{,}94$ см$^2$. Предел текучести по сертификату 255 МПа. Усилия действующие в нижнем поясе $N = 400$ кН.

Решение

Расчетная площадь сечения уголков при равномерном коррозийном износе по формуле (6.2) равна

$$A_{ef} = (1 - K_{SA} \cdot \Delta^*)A = \left(1 - \frac{2}{t}0{,}73\right)18{,}94 = (1 - 0{,}182)18{,}94 = 15{,}483 \text{ см}^2,$$

где $t = 8$ мм – толщина полок.

Расчетное сопротивление стали

$$R_{yo} = \frac{\sigma_m}{\gamma_m} = \frac{25{,}5}{1{,}1} = 23{,}18 \text{ кН/см}^2,$$

где $\gamma_m = 1{,}1$, так как сталь изготовлена до 1982 г.

Проверка прочности нижнего пояса стальной фермы, подверженной коррозии

$$\frac{N}{A_{ef}} = \frac{400}{15{,}483} = 25{,}83 \text{ кН/см}^2 > R_{yo} \cdot \gamma_c = 23.18 \cdot 0{,}9 = 20{,}86 \text{ кН/см}^2.$$

Условие не выполняется, следовательно, требуется проведение мероприятий по ограничению нагрузки либо по усилению конструкции.

6.4.3 Пример

Проверить устойчивость стальной сжатой стойки из двутавра №36 по ГОСТ 8239-89 $(A = 61{,}9\ \text{см}^2;\ W_x = 743\ \text{см}^3;\ i_x = 14{,}7\ \text{см})$ с расчетной длиной $L_{\text{рас}} = 560$ см. Расчетная нагрузка $N = 580$ кН. Нагрузка от собственного веса поддерживающих конструкций, при которых выполнялись обмеры, $N_o' = 410$ кН. Материал конструкции имеет расчетное сопротивление $R_{yo} = 200$ МПа.

При обследовании обнаружено общее искривление стойки со стрелкой $f_{\text{из}}' = 4{,}9$ см и коррозионный износ, равномерный по всему поперечному сечению, с глубиной проникновения коррозии $\Delta^* = 1{,}73$ мм.

Решение

Расчетные геометрические характеристики сечения стойки при равномерном коррозийном износе

$$A_{ef} = A\left(1 - \Delta^* \frac{4}{s+t}\right) = 61{,}9\left(1 - 1{,}73\frac{4}{7{,}5 + 12{,}3}\right) = 40{,}266\ \text{см}^2,$$

$$W_{ef} = W_x(1 - k_{SW} \cdot \Delta^*) = 743{,}0(1 - 0{,}18 \cdot 1{,}73) = 511{,}63\ \text{см}^3,$$

где коэффициент $k_{SW}$ принят по таблице 5.1, $s$ и $t$ – по таблице Г.6 (приложение Г).

Приведенное значение радиуса инерции

$$i_{ef} = \sqrt{\frac{W_{ef} \cdot h/2}{A_{ef}}} = \sqrt{\frac{511{,}63 \cdot 18}{40{,}266}} = 15{,}123\ \text{см}.$$

Условная гибкость стойки

$$\bar{\lambda} = \frac{H}{i_{ef}}\sqrt{\frac{R_{yo}}{E}} = \frac{560}{14{,}7}\sqrt{\frac{20{,}0}{2{,}05\cdot 10^4}} = 1{,}1566.$$

Напряжения в момент замера искривления

$$\sigma' = \frac{N_o'}{A_{ef}} = \frac{410}{40{,}288}10{,}182\ \text{кН/см}^2.$$

Значение коэффициента $\varphi_0$, который позволяет определить величину стрелки искривления стойки в ненагруженном состоянии, по формуле (6.11) равно

$$\psi_0 = 1 - 0{,}1\frac{\bar{\lambda}^2\cdot\sigma'}{R_{yo}} = 1 - 0{,}1\frac{1{,}1566^2\cdot 10{,}182}{20} = 0{,}93.$$

Следовательно, стрелка искривления в исходном состоянии, согласно формуле (6.10) составит

$$f_0 = \psi_0\cdot f_{\text{нз}}' = 0{,}93\cdot 4{,}9 = 4{,}56\ \text{см}.$$

Относительный эксцентриситет в стойке за счет ее начального искривления

$$m_f = \frac{f_o\cdot A_{ef}}{W_{ef}} = \frac{4{,}56\cdot 40{,}266}{511{,}63} = 0{,}359.$$

Коэффициент влияния формы сечения $\eta$ по таблице Д.2 приложения Д [12]. Для двутаврового сечения стойки коэффициент $\eta$ определится

$$\eta = (1{,}75 - 0{,}1m_f) - 0{,}02(5 - m_f)\bar{\lambda} = (1{,}75 - 0{,}1 \cdot 0{,}359) - 0{,}02 \times$$
$$\times (5 - 0{,}359)1{,}1566 = 1{,}606.$$

Коэффициент перехода от стрелки искривления к эквивалентному эксцентриситету

$$k = 0{,}82 + 0{,}1\frac{\sqrt{\eta \cdot m_f}}{\bar{\lambda}} = 0{,}82 + 0{,}1\frac{\sqrt{1{,}606 \cdot 0{,}359}}{1{,}1566} = 0{,}8856,$$

тогда величина эквивалентного эксцентриситета равна

$$c_{\text{экв}} = k \cdot f_o = 0{,}8856 \cdot 4{,}56 = 4{,}04 \text{ см}.$$

Величина приведенного относительного эксцентриситета

$$m_{ef} = \eta\frac{A_{ef} \cdot c_{\text{экв}}}{W_{ef}} = 1{,}606\frac{40{,}266 \cdot 4{,}04}{511{,}63} = 0{,}511.$$

По таблице Д.3 [12] коэффициент продольного изгиба, который для $\lambda = 1{,}1566$, и $m_{ef} = 0{,}511$, составит $\varphi = 0{,}765$.

Проверка внецентренно сжатой стойки

$$\frac{N}{\varphi_e \cdot A_{ef}} = \frac{580}{0{,}765 \cdot 40{,}266} = 18{,}83 \leq R_{yo} \cdot \gamma_c = 20 \cdot 0{,}9 = 18 \text{ кН/см}^2.$$

Условие не выполняется, требуется усиление конструкции.

## Список использованных источников

1. СП 13-102-2003* Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М. : Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 26 с. – ISBN 5-88111-136-2.

2. ГОСТ Р 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М. : Изд.-во: ФГУП Стандартинформ, 2014. – 61 с.

3. ВСН 53-86(р) Правила оценки физического износа зданий / Гражданстрой. – М. : Прейскурантиздат, 1988. – 72 с.

4. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. – М. : Госстрой, ФАУ «ФЦС», 2013. – 196 с.

5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. АО «НИЦ «Строительство» – ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М., 2016. – 104 с.

6. ГОСТ 22690-88 Бетон. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М. : Стандартинформ, 2010. – 16 с.

7. ГОСТ 28570-90 Бетон. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкции. – М. : Стандартинформ, 2005. – 9 с.

8. Добромыслов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений: справ. пособие / А.Н. Добромыслов – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 256 с.

9. Касимов Р.Г. Диагностика и управление техническим состоянием объектов недвижимости. [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.Г. Касимов. – Оренбург: ОГУ, 2017. – 140 с.

10. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения – Введен 01.01.2013 / Минрегион России. – М., 2011.

11. СП 15.1330.2012 Каменные и армокаменные конструкции/ Минрегион России, 2012. – 72 с.

12. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. АО «НИЦ «Строительство» - ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, МГСУ, СПбГАСУ. М., 2017. – 148 с.

13. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. АО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им.Н.М.Герсеванова. – М., 2016. – 219 с.

14. Руководство по определению и оценке прочности бетона в конструкциях зданий и сооружений/ НИИ строительных конструкций Госстроя СССР, НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 31 с.

15. СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. АО «НИЦ «Строительство» - ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М., 2017. – 105 с.

16. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. ЦНИИПромзданий. – М., 2001. – 100 с.

# Приложение А

***(справочное)***

Таблица А.1 – Категория технического состояния бетонных и железобетонных конструкций и характеризующие их признаки

| Категории состояния конструкций | Признаки | | Коэффициенты изменения | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Визуальное обследование | Детальное (инструментальное) обследование | $К_{из}$ | $К'_{из}$ | $К''_{из}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 Исправное -отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкции; необходимости в ремонтно-восстановительных работах на момент обследования нет | На поверхности бетона видимых дефектов и повреждений нет или имеются отдельные раковины, выбоины, волосяные трещины; антикоррозионная защита закладных деталей не нарушена, поверхность арматуры при вскрытии чистая, глубина карбонизации бетона не превышает половины толщины защитного слоя; ориентировочная прочность бетона не ниже проектной | Прочность бетона не ниже или проектной; скорость ультразвуковых (УЗВ) волн более 4 км/с; на отдельных участках (не более 20% общего числа замеренных) величина защитного слоя бетона меньше проектной до 20% и марка по водонепроницаемости на одну ступень, величина прогиба и ширина раскрытия трещин не превышают допустимую по нормам; расчетное сопротивление арматуры составляет не менее чем 0,95 величины, принятой нормами для соответствующего класса; потери площади сечения рабочей арматуры нет | 1 | 1 | 1 |

Продолжение таблицы А.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 Работоспособное - имеющиеся дефекты и повреждения не снижают несущую способность и эксплуатационную пригодность конструкции; защитные свойства бетона по отношению к арматуре на отдельных участках исчерпаны, требуется их восстановление, устройство и восстановление гидроизоляции и антикоррозионной защиты | Антикоррозионная защита железобетонных элементов имеет частичные повреждения; на отдельных участках мокрые или масляные пятна, высолы; на отдельных местах с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры или хомутов; коррозия рабочей арматуры отдельными точками и пятнами, язвами и пластинками ржавчины, антикоррозионная защита закладных деталей не нарушена; глубина карбонизации бетона не превышает толщины защитного слоя, изменен цвет бетона вследствие пересушивания; местами отслоения бетона при простукивании; шелушение граней и ребер конструкций, подвергающихся замораживанию; ориентировочная прочность бетона не ниже проектной | Прочность бетона основного сечения элемента (за пределами защитного слоя бетона и в сжатой зоне) не ниже проектной; скорость УЗВ 3-4 км/с, расчетное сопротивление арматуры составляют не менее 0,95 величины, принятой действующими нормами для соответствующего класса, потеря площади сечения рабочей ненапрягаемой арматуры и закладных деталей вследствие коррозии не превышает 5% | 0,9 | 0,95 | 0,9 |

Продолжение таблицы А.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 Ограниченно работоспособное - существуют повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности и эксплуатационной пригодности конструкции, но на момент обследования не угрожающие безопасности работающих и обрушению; требуется усиление | Пластинчатая ржавчина на стержнях оголенной арматуры в зоне продольных трещин или на закладных деталях, трещины в растянутой зоне бетона, превышающие их допустимое раскрытие; бетон в растянутой зоне на глубине защитного слоя между стержнями арматуры легко крошится; снижение ориентировочной прочности бетона в сжатой зоне изгибаемых элементов до 30%, провисание отдельных стержней распределительной арматуры; выпучивание хомутов; разрыв отдельных из них; уменьшенная против требований норм проекта площадь опирания сборных элементов | Прочность бетона основного сечения элемента ниже проектной, скорость УЗВ менее 3 км/с; потеря прочности рабочей арматуры и закладных деталей вследствие коррозии превышает 5%, ширина раскрытия трещин, вызванная эксплуатационными воздействиями на уровне арматуры, превышает допустимую по действующим нормам; трещины в сжатой зоне и в зоне главных растягивающих напряжений; прогибы элементов, вызванные эксплуатационными воздействиями, превышают допустимые более чем на 30% | 0,8 | 0,9 | 0,8 |

Продолжение таблицы А.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 Недопустимое - существуют повреждения, свидетельствующие об опасности пребывания людей в районе обследуемых конструкций, требуются немедленные страховочные мероприятия: ограничение нагрузок (недопущение складирования материалов, деталей и др.; ограничение грузоподъёмности кранов и их сближения); устройство предохранительных сеток и др. | Дефекты в средних пролетах многопролетных балок и плит; разрывы отдельных частей арматуры в растянутой зоне; разрывы хомутов в зоне наклонной трещины; раздробление бетона; выкрашивание крупного заполнителя в сжатой зоне; трещины, уменьшенная против требований норм и проекта площадь опирания сборных элементов | Не производят | - | - | - |

Продолжение таблицы А.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 Аварийное – существуют повреждения, свидетельствующие о возможности обрушения конструкций; требуются немедленная разгрузка конструкций и устройство временных креплений | Трещины, в том числе пересекающие опорную зону и зону анкеровки; отход анкеров от пластин закладных деталей из-за коррозии стали в сварных швах или других причин; деформация закладных и соединительных элементов; расстройство стыков элементов с взаимным смещением последних; смещение опор, значительные (более 1/150 пролета) прогибы изгибаемых элементов при наличии трещин в растянутой раскрытием более 1.0 мм; разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в сжатой зоне, раздробление бетона и выкрашивание заполнителя в сжатой; уменьшенная против требований норм и проекта площадь опирания сборных элементов | То же | - | - | - |

***Примечания***
***1 При уменьшении против требований норм и проекта площади опирания сборных элементов необходимо провести ориентировочный расчет опорного элемента на срез или смятие бетона. В расчете учитываются фактические нагрузки и средняя фактическая прочность бетона. 2 Для отнесения конструкции к указанным в таблице категориям состояния достаточно наличия хотя бы одного признака, характеризующего эту категорию. 3 $K_{из}$, $K'_{из}$, $K''_{из}$ – коэффициенты, учитывающие изменение прочности бетона, арматуры и сцепление арматуры с бетоном соответственно.***

Таблица А.2 – Оценка технического состояния железобетонных конструкций по внешним признакам

| Категория состояния конструкции | Признаки силовых воздействий на конструкцию | Признаки воздействия внешней среды на конструкцию |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Волосяные трещины (до 0,1 мм). | Имеются отдельные раковины, выбоины. |
| 2 | Трещины в растянутой зоне бетона не превышают 0,3 мм. | На отдельных участках с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры или хомутов. Шелушение ребер конструкций. На поверхности бетона мокрые или масляные пятна, изменение цвета бетона. |
| 3 | Трещины в растянутой зоне бетона до 0,5 мм. | Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры. Коррозия арматуры до 10 % площади стержней. Бетон в растянутой зоне на глубине защитного слоя между стержнями арматуры легко крошится. Снижение прочности бетона до 20 %. |
| 4 | Ширина раскрытия нормальных трещин в балках не более 1 мм и протяженность трещин не более 3/4 высоты балки. Сквозные нормальные трещины в колоннах не более 0,5 мм. Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета. | Отслоение защитного слоя бетона и оголение арматуры. Коррозия арматуры до 15 %. Снижение прочности бетона до 30 %. |

Продолжение таблицы А.2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 5 | Ширина раскрытия нормальных трещин в балках более 1 мм при протяженности трещин более 3/4 их высоты. Косые трещины, пересекающие опорную зону и зону анкеровки растянутой арматуры балок. Сквозные наклонные трещины в сжатых элементах. Хлопающие трещины в конструкциях, испытывающих знакопеременные воздействия. Выпучивание арматуры в сжатой зоне колонн. Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне, разрыв хомутов в зоне наклонной трещины. Раздробление бетона в сжатой зоне. Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета при наличии трещин в растянутой зоне более 0,5 мм. | Оголение всего диаметра арматуры стержня. Коррозия арматуры более 15 % сечения. Снижение прочности бетона более 30 %. Расстройство стыков. |

Таблица А.3 – Классификация и причины возникновения дефектов и повреждений в железобетонных конструкциях, возможные последствия

| Категория технического состояния | Вид дефектов и повреждений | Возможные причины появления | Возможные последствия |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 1 Волосяные трещины с заплывшими берегами, не имеющие четкой ориентации, появляющиеся при изготовлении, в основном на верхней поверхности | Усадка в результате принятого режима тепловлажностной обработки, состава бетонной смеси, свойств цемента и т.п. | На несущую способность не влияют. Могут снизить долговечность |
| 2 | 2 Волосяные трещины вдоль арматуры, иногда след ржавчины на поверхности бетона | а) Коррозия арматуры (слой коррозии не более 0,5 мм) при потере бетоном защитных свойств (например, при карбонизации).<br>б) Раскалывание бетона при нарушении сцепления с арматурой | а) Снижение несущей способности до 5%. Снижение долговечности.<br>б) Возможно снижение несущей способности. Степень снижения зависит от многих факторов и должна оцениваться с учетом наличия других дефектов и результатов поверочного расчета |
| В зависимости от масштаба повреждений | 3 Сколы бетона | Механические воздействия | При расположении:<br>- в сжатой зоне - снижение несущей способности за счет уменьшения площади сечения;<br>- в растянутой зоне - на несущую способность не влияют |

Продолжение таблицы А.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| В зависимости от места и размера промасливания | 4 Промасливание бетона | Технологические протечки | Снижение несущей способности за счет снижения прочности бетона до 30% |
| 3 | 5 Трещины вдоль арматурных стержней не более 3 мм | Развиваются в результате коррозии арматуры из волосяных трещин. Толщина продуктов коррозии не более 3 мм | Снижение несущей способности в зависимости от толщины слоя коррозии и объема выключенного из работы бетона сжатой зоны. Уменьшение несущей способности нормальных сечений в результате нарушения сцепления арматуры. Степень снижения оценивают расчетом. При расположении на опорных участках - аварийное состояние |

Продолжение таблицы А.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 4,5 (в зависимости от степени повреждения коррозией) | 6 Отслоение защитного слоя бетона | Коррозия арматуры (дальнейшее развитие дефектов см. пункты 2 и 5 таблицы) | Снижение несущей способности в зависимости от уменьшения площади сечения арматуры в результате коррозии и уменьшения размеров поперечного сечения сжатой зоны. Снижение прочности нормальных сечений в результате нарушения сцепления арматуры с бетоном. При расположении дефектов на опорном участке - аварийное состояние |
| 4 | 7 Нормальные трещины в изгибаемых конструкциях и растянутых элементах конструкций шириной раскрытия для стали классов:<br>А-I - более 0,5 мм;<br>А-II, А-III, А-IIIВ, А-IV - более 0,4 мм;<br>в остальных случаях - более 0,3 мм | Перегрузка конструкций, смещение растянутой арматуры. Для преднапряженных конструкций - малое значение натяжения арматуры при изготовлении | Снижение долговечности, недостаточная несущая способность |

Продолжение таблицы А.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 5 | 8 То же, что и в пункте 7 таблицы, но имеются трещины с разветвленными концами | Перегрузка конструкций в результате снижения прочности бетона или нарушения сцепления арматуры с бетоном | Возможно аварийное состояние |
| 5 | 9 Наклонные трещины со смещением участков бетона относительно друг друга и наклонные трещины, пересекающие арматуру | Перегрузка конструкций. Нарушение анкеровки арматуры | Аварийное состояние |
| 4,5 (в зависимости от величины прогибов и наличия других дефектов) | 10 Относительные прогибы, превышающие для:<br>- преднапряженных стропильных ферм - 1/700;<br>- преднапряженных стропильных балок - 1/300;<br>- плит перекрытий и покрытий - 1/150 | Перегрузка конструкций | Степень опасности определяется в зависимости от наличия других дефектов (например, также при наличии дефекта по пункту 7 таблицы - аварийное состояние) |
| 3,4,5 (в зависимости от величины и характера повреждений) | 11 Повреждение арматуры и закладных деталей (надрезы, вырывы и т.п.) | Механические воздействия, коррозия арматуры | Снижение несущей способности пропорционально уменьшению площади сечения |
| 5 | 12 Выпучивание сжатой арматуры, продольные трещины в сжатой зоне, шелушение бетона сжатой зоны | Перегрузка конструкций | Аварийное состояние |

Продолжение таблицы А.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| В зависимости от напряжений и глубины опирания конструкций | 13 Уменьшение площадок опирания конструкций по сравнению с проектными | Ошибки при изготовлении и монтаже | Степень снижения несущей способности определяется расчетом |
| 5 | 14 Разрывы или смещения поперечной арматуры в зоне наклонных трещин | Перегрузка конструкций | Аварийное состояние |
| 5 | 15 Отрыв анкеров от пластин закладных деталей, деформации соединительных элементов, расстройство стыков | Наличие воздействий, не предусмотренных при проектировании | Аварийное состояние |
| 4,5 (в зависимости от степени повреждения коррозией) | 16 Трещины силового характера в стенах и перекрытиях монолитных конструкций, появляющиеся после снятия опалубки или спустя некоторое время | Температурно-усадочные усилия, возникающие при условиях, стесняющих деформации | При раскрытии больше допустимого - снижение долговечности. Влияние на жесткость и прочность оценивается расчетом |

Таблица А.4 – Вертикальные предельные прогибы элементов конструкций и нагрузки, от которых следует определять прогибы

| Элементы конструкций | Предъявляемые требования | Вертикальные предельные прогибы $f_u$ | Нагрузки для определения вертикальных прогибов |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Балки крановых путей под мостовые и подвесные краны, управляемые: | | | |
| с пола, в том числе тельферы (тали) | Технологические | $l$ /250 | От одного крана |
| из кабины при группах режимов работы (по ГОСТ 25546-82): | Физиологические и технологические | | |
| 1К-6К | | $l$ /400 | То же |
| 7К | | $l$ /500 | ,, |
| 8К | | $l$ /600 | ,, |
| 2. Балки, фермы, ригели, прогоны, плиты, настилы (включая поперечные ребра плит и настилов): | | | |
| а) покрытий и перекрытий, открытых для обзора, при пролете $l$, м: | Эстетико-психологические | | Постоянные и временные длительные |
| $l \leq 1$ | | $l$ /120 | |
| $l = 3$ | | $l$ /150 | |
| $l = 6$ | | $l$ /200 | |
| $l = 24(12)$ | | $l$ /250 | |
| $l \geq 36(24)$ | | $l$ /300 | |
| б) покрытий и перекрытий при наличии перегородок под ними | Конструктивные | Принимаются в соответствии с приложением Д.1 [5] | Приводящие к уменьшению зазора между несущими элементами конструкций и перегородками, расположенными под элементами |

Продолжение таблицы А.4

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| в) покрытий и перекрытий при наличии тельферов (талей), подвесных кранов, управляемых: | | | |
| с пола | Технологические | *l* /300 или *a*/150 (меньшее из двух) | Кратковременные с учетом нагрузки от одного крана или тельфера (тали) на одном пути |
| из кабины | Физиологические | *l* /400 или *a*/200 (меньшее из двух) | От одного крана или тельфера (тали) на одном пути |
| г) перекрытий, подверженных действию: | | | |
| перемещаемых грузов, материалов, узлов и элементов оборудования и других подвижных нагрузок (в том числе при безрельсовом напольном транспорте) нагрузок от рельсового транспорта: | Физиологические и технологические | *l* /350 | Наиболее неблагоприятное 0,7 полных нормативных значений кратковременных нагрузок на перекрытие или нагрузки от одного транспортного средства (более неблагоприятное из двух) |
| узкоколейного | | *l* /400 | От одного состава вагонов (или одной напольной машины) на одном пути |
| ширококолейного | | *l* /500 | То же |

Продолжение таблицы А.4

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| д) покрытий и перекрытий автостоянок в зданиях при пролете l, м:<br>l = 6<br>l = 12<br>l ≥ 24 | Физиологические и технологические | *l* /200<br>*l* /250<br>*l* /300 | Постоянные и длительные |
| 3. Элементы лестниц (марши, площадки, косоуры), балконов, лоджий | Эстетико-психологические | Те же, что в поз. 2а | |
| | Физиологические | Определяются в соответствии с Д 2.2 | |
| 4. Плиты перекрытий, лестничные марши и площадки, прогибу которых не препятствуют смежные элементы | Физиологические | 0,7 мм | Сосредоточенная нагрузка 1 кН (100 кгс) в середине пролета |
| 5. Перемычки и навесные стеновые панели над оконными и дверными проемами (ригели и прогоны остекления) | Конструктивные | *l* /200 | Приводящие к уменьшению зазора между несущими элементами и оконным или дверным заполнением, расположенным под элементами |
| | Эстетико-психологические | Те же, что в поз. 2а | |

Обозначения, принятые в таблице А.4:
*l* — расчетный пролет элемента конструкции;
*a* — шаг балок или ферм, к которым крепятся подвесные крановые пути.
Примечания:
1. Для консоли вместо *l* следует принимать удвоенный ее вылет.
2. Для промежуточных значений *l* в поз. 2а предельные прогибы следует определять линейной интерполяцией, учитывая требования Д.1. 7 приложения Д.
3. В поз. 2а цифры, указанные в скобках, следует принимать при высоте помещений до б м включительно
4. Особенности вычисления прогибов по поз. 2, г указаны в Д.1.8 приложения Д.
5. При ограничении прогибов эстетико-психологическими требованиями допускается пролет *l* принимать равным расстоянию между внутренними поверхностями несущих стен (или колонн).

## Приложение Б
***(справочное)***

Таблица Б.1 – Характерные повреждения и дефекты каменной кладки

| Вид повреждений и дефектов, места их расположения и характерные признаки обнаружения | Вероятные причины возникновения и методы обнаружения | Возможные последствия и меры по предупреждению дальнейшего развития или устранению |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Деформация стен | | |
| 1 Искривление горизонтальных и вертикальных линий | Неравномерные деформации грунтов основания. Возможно появление характерных трещин. Обследование фундаментов и грунтов основания | Снижение несущей способности, развитие трещин. Предотвращение дальнейшей осадки грунтов, проведение ремонта стен, при необходимости с усилением |
| 2 Выпучивание стен | Боковое давление грунта, различных материалов размещение навалом у стены, действие горизонтальных реакций распорных конструкций, увеличение (против расчётных) эксцентриситетов вертикальных нагрузок, большая гибкость стен по высоте вследствие разрыва или отсутствия промежуточных связей; смещение на опорах балок, прогонов, плит перекрытий или покрытий к краю стены; передача недопустимых силовых воздействий на кладку, не набравшую достаточную прочность; одностороннее оттаивание кладки, выполненной методом | Снижение несущей способности стены, появление трещин. Устранение горизонтальных нагрузок, восстановление связей, ремонт поврежденных участков стен при необходимости (по расчету) с усилением |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| | размораживания, температурные деформации. Методы выявления – визуальный, поверочный расчет | |
| 3 Отклонение стен или их отдельных участков от вертикали | Неравномерные деформации грунтов основания; недостаточность поперечных связей или их разрыв. Метод выявления – визуальный, возможно появление характерных трещин, обследование фундаментов и грунтов основания | Появление и развитие трещин в кладке, снижение несущей способности. Устранение причин деформации грунта и проведение ремонта стен с необходимым усилением |
| 4 Отколы углов, пробоины, выбоины, борозды и др. | Дефекты строительства, механические воздействия в процессе эксплуатации (удары транспортных средств, пробивка отверстий и бороздок для различных целей и т.п.). Выявление дефекта – визуально с учением условий эксплуатации | Возможное снижение несущей способности. Ремонт после устранения причин повреждений или принятия мер защиты от них, в случае необходимости усиление конструкции |
| Увлажнение стен | | |
| 5 В местах повреждения наружного слоя (штукатурки, облицовки и др.) | Скапливания влаги от атмосферных осадков на повреждённых участках наружной поверхности стен и её капиллярное всасывание материалами кладки в толщину стен. Выявления дефекта – визуально | Развитие деструктивных процессов с последующим микро- и макроразрушением камня и раствора. Ремонт повреждённого наружного слоя с предварительным устранением причин повреждения и осушением участков |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 6 В местах открытого размещения оборудования, выделяющего пар и влагу | Конденсация влаги на поверхности стен, попадание брызг. Выявления дефекта – визуально | Развитие деструктивных процессов в кладке с последующим прогрессирующим разрушением. Устранение увлажнения стены путём организованного отвода пара, устройства защитного экрана от брызг или защита поверхности стены морозостойкими и водостойкими материалами. Проведение ремонта повреждённых мест |
| 7 В парапетной или карнизной части наружных стен под окнами, нишами, в зоне расположения водосточных труб | Повреждение кровли в зоне карниза, качественное выполнение примыкания гидроизоляционного ковра к пораженной стене; повреждение водосточных желобов, отсутствие капельников, повреждение сливов, воронок и водосточных труб; недостаточный вынос карнизных свесов. Определение дефекта – визуально | Развитие деструктивных процессов в кладке с последующим прогрессирующим разрушением. Устранение причин увлажнения, в случае необходимости ремонт кладки с осушением увлажнённых участков |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 8 Над окнами, воротами, дверями, вытяжными вентиляционными отверстиями с возможным образованием в зимнее время инея и наледи | Конденсация влаги из воздуха, эксфильтрирующегося из помещений здания. Выявление дефектов – визуально | Уплотнение, ремонт заполнения проемов и местных сопряжения со стеной, организация отвода воздуха из вытяжных вентиляционных отверстий от поверхности стен. В случае необходимости ремонт стен с предварительным осушением увлажнённых участков |
| 9 В цокольной части стен | Повреждение, некачественное выполнение или отсутствие гидроизоляции; низкое расположение гидроизоляции относительно отмостки, повреждения отмостки или тротуара. Метод выявления повреждений –визуальный | Развитие деструктивных процессов в кладке, вызванное попеременным замораживанием и оттаиванием с выветриванием увлажнённых участков. Восстановление или устройство новой гидроизоляции, восстановление или ремонт отмостки. В случае необходимости ремонт повреждённых участков цоколя |
| 10 Увлажнение внутренней поверхности стен по всей площади или в различных зонах | Несоответствие фактических температур и влажности воздуха в помещении принятым при проектировании (недостаточность вентиляции, изменения технологического процесса); несоответствие фактических теплофизических характеристик материалов принятом при проектировании, недостаточная теплоизоляция отдельных зон. | Снижение прочностных характеристик кладки. Осушение и приведение сопротивлений теплопередаче и паропроницанию в соответствии с нормативными требованиями |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| | Метод выявления – визуально-инструментальный | |
| 11 Увлажнение внутренней поверхности стен в зонах размещения санитарно-технического оборудования, трубопроводов емкостей с жидкостью | Неисправности оборудования, протечки из трубопроводов и емкостей, постоянной конденсат на поверхности трубопроводов, емкостей с жидкостью и т.п. Метод выявления – визуальный | Снижение прочностных характеристик кладки с развитием деструктивных процессов. Устранение неисправностей оборудования, коммуникаций, емкостей, теплоизоляция холодных поверхностей, необходимых случаях ремонт |
| 12 Высолы на наружной или внутренней поверхности стен | Перенос солей, входящих в состав материалов стен, на её поверхности при их повышенных дозировках (добавки и раствор). Метод выявления – визуальный | На несущую способность кладки заметного влияние не оказывают. Участки стен с высолами очистить от налёта соли и просушить |
| Повреждения защитных и отделочных слоев | | |
| 13 Шелушение, растрескивание или отслаивание лакокрасочных покрытий | Деформация и разрушение материала стены под лакокрасочным покрытием; деформация от попеременно замерзающей и оттаивающей влаги; несоответствие лакокрасочного покрытия температурно-влажностного режима воздуха или химической агрессивности эксплуатационной среды, нарушение правил устройства лакокрасочного покрытия. Метод выявления – визуальный | На несущую способность кладки не влияет, если не нарушена целостность кладки. Ремонт повреждённого лакокрасочного покрытия с соответствующей подготовкой основания после устранения причин повреждения |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 14 Растрескивание или отслоение штукатурных покрытий или фактурных слоев с выпадением отдельных кусков | Деформация или разрушения материалов стены под штукатурным слоем; различие в усадочных или температурных деформациях штукатурного слоя и стены; дефекты изготовления или нанесение покрытий; проникание влаги под штукатурный слой с последующими многократными циклами замораживания – оттаивания или увлажнения – высыхания; высокотемпературный нагрев (технологический или при пожаре). Методы выявления – визуальный и путём простукивания или вскрытия штукатурного слоя в отдельных местах | На несущую способность кладки практически не влияет. Устранение причин повреждения, ремонт штукатурного слоя с соответствующим подбором его состава и подготовкой поверхности; ограничение температурных воздействий |
| 15 Рыхлая структура | Попеременное замораживание – оттаивание материала штукатурного слоя в увлажнённом состоянии; расклинивающее действие влаги при попеременном увлажнении – высыхании; растворение или вымывание компонентов материала водой, химические воздействия на материалы штукатурного слоя. Выявления дефектов путём сопоставления свойства материала штукатурного слоя на различных участках здания | На несущую способность кладки заметного влияние не оказывает. Удалить повреждённые участки штукатурки и нанести новое штукатурное покрытие |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 16 Трещины в кладке, имеющие характер параболических кривых, ветви которых расходятся книзу по обе стороны от средней, зданий | Деформация грунта основания в средней части здания; метод выявления – визуальный, наблюдения за деформацией грунта и трещинами, инженерно-геологические изыскания, поверочные расчеты | Снижение несущей способности стен в зоне расположения трещин, уменьшение пространственной жёсткости здания. Укрепление грунтов основания, усиление фундаментов или повышение пространственной жёсткости зданий, установка тяжей и заделка трещин после прекращения их развития |
| 17 Трещины, раскрытия которых увеличивается кверху; наклонные или имеющие характер параболических кривых, расходящихся книзу относительно краев здания | Деформация грунта основания у крайних частей или наличие твердого включения под средней частью здания. Методы выявления – те же | То же |
| 18 Трещина, близкая к вертикальной, раскрытие которой увеличивается кверху | Разлом здания вследствие наличия жесткой опоры в грунте под трещиной. Методы выявления – те же | То же |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 19 Близкая к вертикальной трещина с одинаковым раскрытием по высоте со смещением по вертикали части здания с одной стороны от трещины относительно другой | Деформация грунта основания под частью здания. Методы выявления – те же | То же |
| 20 V-образные трещины по линии пристройки нового здания к ранее существовавшему или в месте перепада высот одного здания | Разная степень уплотнения грунта или разное давление на грунт по обе стороны от линии пристройки или перепада высот. Метод выявления – тот же | То же |
| | | |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 21 Вертикальные трещины с раскрытием 0,1-0,5 мм, пересекающие два или более рядов кладки, при количестве трещин две и более на 1 м вертикально наружной стены, расслоение кладки | Значительная перегрузка кладки, пониженная прочность материалов, примененных в конструкции, и соответственно снижение прочностных характеристик кладки. Метод выявления – визуальный, простукивание молотком. Поверочный расчёт с учётом фактической прочности материала | Снижение несущей способности. Усиление по расчету с учетом фактической прочности материалов коэффициента $K_{TC}$ |
| 22 Горизонтальные и косые трещины по швам кладки рядовых, клинчатых или арочных перемычек; вертикальные трещины в середине пролета, возможно, с выпадением отдельных камней | Перегрузка кладки, пониженная прочность материалов, недостаточное армирование, неравномерные деформации грунтов основания. Метод выявления – тот же | То же |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 23 Горизонтальные трещины по швам кладки стен, подверженных горизонтальным нагрузкам, возможно, со сдвигом по горизонтальным швам или ступенчатой наклонной штробе | То же | Снижение прочности кладки. Усиление по расчету с учетом фактической прочности материалов, сечения кладки и эксцентриситета вертикальных нагрузок |
| 24 Мелкие трещины, возможно, со скалыванием и раздроблением материалов кладки под опорами и опорными подушками балок, ферм, перемычек, козырьков, веерообразно расходящихся от места расположения нагрузки | Перегрузка кладки, а также недостаточная глубина опорной части. Отсутствие или недостаточная несущая способность опорной подушки. Метод выявления – визуальный, поверочный расчет кладки и опорной подушки | Снижение прочности кладки до аварийного состояния. Усиление по расчету фактической прочности материалов, сечения кладки, эксцентриситета коэффициента $K_{TC}$, инъектирование трещин полимерцементным раствором. |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 25 Вертикальные и наклонные трещины в верхней части здания, в местах сопряжения разнонагруженных продольных и поперечных стен | Различная деформативность равнонагруженных стен вследствие разных напряжений в кладке и ползучести кладки при длительном действии нагрузки. Метод выявления – визуальный, поверочные расчеты фактического конструктивного решения | Снижение несущей способности стен в зоне трещин. Снижение пространственной жесткости здания. Установка тяжей и инъектирование трещин. Усиление в случае необходимости по расчету с учетом фактической длины и высоты стен в месте образования трещин |
| 26 Вертикальные трещины в верхней части пилястр, служащих опорами балок и ферм, в местах сопряжения пилястр с кладкой стены | То же и горизонтальные усилия, возникающие в фермах и балках при колебаниях температуры, осадке фундаментов. Метод обнаружения – визуальный, поверочный расчет | Снижение несущей способности. Необходимость усиления определяется расчетом с учетом коэффициента $K_{TC}$ |
| 27 Трещины V-образной формы в верхней части здания | То же и распор вследствие расстройства стропильной системы покрытия здания | Восстановление затяжек стропильной системы. Заделка трещин, в случае необходимости – с перекладкой деформированных участков, установкой тяжей и инъектированием трещин |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 28 Вертикальные трещины с раскрытием 0,1-0,3 мм в кладке продольных стен нижних этажей, по концам перемычек, балок, плит, армированных поясов, отрыв продольных стен от торцевых и поперечных | Продольные температурно-влажностные деформации стен или перекрытий при изменении средней температуры сечения. Метод выявления – визуальный, наблюдение за развитием трещин, поверочные расчеты | Снижение прочности кладки в зоне трещин. Заделка трещин, необходимость усиления определяется по расчету с учетом фактической прочности материалов и сечений стены |
| 29 Трещины с раскрытием до 10 мм и более, разрыв в кладке средней части здания на всю его высоту | Отсутствие температурно-осадочных швов или отсутствие армированных поясов для восприятия температурно-влажностных деформаций. Метод обнаружения – визуальный | То же и усиление грунтового основания и фундаментов по расчету, устройство тяжей, инъектирование трещин |
| 30 Косые трещины в узлах крайних проемов первых этажей | Отсутствие температурно-осадочных швов или отсутствие армированных поясов для восприятия температурно-влажностных деформаций. Метод обнаружения – визуальный | То же и усиление грунтового основания и фундаментов по расчету, устройство тяжей, инъектирование трещин |

Продолжение таблицы Б.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 31 Шелушение поверхностей, выветривание наружных слоев, повышенная пористость, пониженная плотность, рыхлая структура, выкрашивание, выпадение отдельных частиц материала | Воздействие химически агрессивных эксплуатационных сред; высокотемпературный нагрев технологическими источниками или огневое воздействие при пожаре; увлажнение, попеременное замораживание – оттаивание в увлажненном состоянии при недостаточной морозостойкости, попеременное увлажнение – высыхание; биохимические воздействия микроорганизмов, грибов, мхов, а также деревьев и кустарников. Метод выявления – визуальный, в случае необходимости с лабораторным анализом агрессивной среды и образцов материалов | Снижение несущей способности. Необходимость усиления определяется расчетом. Ремонт выполняется после устранения причин повреждения, очистки и обработки поврежденных участков |
| 32 Вертикальные трещины в середине длины подоконной части кладки на первых этажах бесподвальных зданий | Отсутствие горизонтально арматуры | – |
| *Значения $K_{TC}$ смотреть в таблицах 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 | | |

Таблица Б.2 – Оценка технического состояния каменных конструкций по внешним признакам

| Категория состояния конструкции | Признаки силовых воздействий на конструкцию | Признаки воздействия внешней среды на конструкцию | Снижение несущей способности, % |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Исправное | Трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы | Нет | 0...5 |
| Работо-способное | Волосяные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной 15-18 см) | Выветривание раствора швов до 1 см | до 15 |
| Ограниченно-работо-способное | Трещины при пересечении не более четырех рядов кладки. Трещины в перегородках шириной до 10 мм | Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 15 % толщины | до 25 |
| Недопустимое | Вертикальные и косые трещины в несущих стенах на высоту более четырех рядов кладки при числе трещин не более четырех на 1 м кладки. Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами, разрывы или выдергивание отдельных стальных связей и анкеров крепления стен к колоннам и перекрытиям. Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин и лещадок; | Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 25 % толщины. Наклоны и выпучивание стен и фундаментов в пределах этажа не более чем на 1/6 их толщины. Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины заделки, но не более 2 см | до 50 |

Продолжение таблицы Б.2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| | вертикальные трещины по концам опор, пересекающие не более трех рядов кладки | | |
| Аварийное | Вертикальные и косые трещины в несущих стенах на всю высоту стены. Отрыв продольных стен от поперечных в местах их пересечения, разрывы или выдергивание стальных связей и анкеров, крепящих стены к колоннам и перекрытиям.<br>Повреждение кладки под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин, раздробления камня, образование вертикальных и косых трещин, пересекающих более трех рядов кладки, в месте примыкания пилястры к стене | Размораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 40 % толщины.<br>Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа на 1/3 их толщины и более, смещение (сдвиг) стен, столбов и фундаментов по горизонтальным швам.<br>Смещение плит перекрытий на опорах более 1/5 глубины заделки в стене.<br>Полная потеря прочности раствора (раствор легко разбирается руками) | свыше 50 |

***Примечание: Для отнесения конструкции к перечисленным в таблице категориям достаточно наличие хотя бы одного признака, характеризующего эту категорию.***

Таблица Б.3 – Характеристики повреждений каменных конструкций

| Снижение несущей способности конструкций при повреждениях, % | Степень повреждения конструкций | Мероприятия по временному усилению |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| До 15 | Слабое | Поверочный расчет несущей способности конструкций: временных усилений не производить, если подтверждена достаточная несущая способность |
| До 25 | Среднее | Поверочный расчет несущей способности конструкций: при временном усилении установка дополнительных стоек, упоров, стяжек, расчалок |
| До 50 | Сильное | Капитальное восстановление производится по проекту: при временном усилении установка дополнительных стоек, упоров, стяжек, расчалок |
| Свыше 60 | Полное | Конструкции подлежат разборке |

# Приложение В
*(справочное)*

Таблица В.1– Характерные повреждения и дефекты деревянных зданий

| Вид повреждения или дефекта | Наиболее уязвимые места | Вероятные причины возникновения, методы выявления или признаки обнаружения | Возможные последствия и меры по предотвращению дальнейшего развития или устранения |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 Отклонение стен по горизонтали и от вертикали; перекосы перекрытий, кровли, лестниц | По контуру стен, по углам и пересечениям стен и простенков, в плоскости перекрытий, на уровне карниза и по коньку кровли | Перегрузки, неравномерные осадки фундаментов. Метод обнаружения – визуально-инструментальный | Появление щелей, снижение несущей способности. Устранение причин неравномерной осадки фундаментов. Устранение отклонений и перекосов |
| 2 Биологическое поражение | Подполья и подвалы. Неантисептированные торцы балок; стропильные системы и накаты перекрытий; оштукатуренные перегородки, балки, накаты перекрытий и полы во влажных помещениях; дверные и оконные коробки | Применение неантисептированной и пораженной грибком древесины. Протечки, повышенная влажность, отсутствие проветривания. Методы обнаружения визуальный и микробиологический | Снижение несущей способности вплоть до разрушения. Вырезка и сжигание пораженных частей конструкции, их замена или усиление конструктивных элементов. Восстановление температурно-влажностного режима, антисептирование |

Продолжение таблицы В.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 3 Поражение древесины вредителями | Все конструктивные элементы | Жуки-точильщики и их личинки, термиты. Метод обнаружения - визуальный | То же и применение инсектицидов и газовой дезинфекции |
| 4 Отклонение формы и фактических размеров конструкций от проектных, возникшие в процессе изготовления и монтажа | Все конструктивные элементы | Отступление от проекта при изготовлении конструкции. Метод обнаружения- визуальный | Частичное или полное снижение несущей способности конструкции устойчивости. Усиление по расчету. |
| 5 Возгорание | Места расположения отопительных печей, газовых плит; подключения электробытовых приборов и оборудования | Перегрузки электропроводки и электробытовых приборов, отсутствие огнезащитной пропитки. Метод обнаружения - визуальный | Частичная или полная потеря несущей способности. Устранение причин возгорания. Огнезащитная пропитка |
| 6 Запилы, зарубы, обмятия, сколы, щели и т.п. | Элементы конструкций и их сопряжения | Механические повреждения, перегрузки, неравномерные осадки, ошибки при строительстве. Метод обнаружения - визуальный | Снижение несущей способности и устойчивости. Усиление по расчету |

Продолжение таблицы В.1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 7 Сучки, трещины, косослой, коробление, усушка и т.д. | Все элементы конструкций | Несоответствие породы и сортности древесины проекту, несоответствие температурно-влажностных условий эксплуатации проекту и СП. Метод обнаружения – визуально-инструментальный | Снижение несущей способности и устойчивости. Усиление по расчету |
| 8 Выпучивание, разрывы, расколы, щели, податливость сопряжения. Прогибы превышающие предельные | Элементы конструкций и их сопряжения | Перегрузки, механические повреждения, нарушение температурно-влажностных условий эксплуатации, ошибки при строительстве. Метод обнаружения - визуальный | То же |
| 9 Отсутствие обжатия деревянных элементов в соединениях болтами | Элементы конструкций и их сопряжения | Некачественное изготовление, несоответствие сортности, влажности древесины проекту. Метод обнаружения - визуальный | Снижение несущей способности. Ремонт |

Таблица В.2 – Детальные признаки биологического поражения деревянных зданий

| Гриб | Характеристика | | | |
|---|---|---|---|---|
| | грибницы | пленок | шнуров | Плодовых тел |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 Настоящий домовой гриб (Merulius lachimans) | Грибница белая ватообразная с розовыми и светло-желтыми пятнами | Пленки серовато-пепельные | Шнуры белые, затем серые, плоские, деревянистые, ломкие, слабо разветвленные | Плодовые тела в виде лепешек, редко - в виде шляпок без ножки, охристо-желтые или коричневые, мясистые; гименофор* сетчатый или складчатый, изредка зубчатый |
| 2 Белый домовой гриб (Poria vopararia) | Грибница белая ватообразная | Пленки слабо развитые, белые | Шнуры белые пушистые, округлые, гибкие, слабо разветвленные | Плодовые тела пластинчатые, белые или желтоватые; гименофор трубчатый, трубочки округлые или многоугольные |
| 3 Пленчатый домовой гриб (Coniophora cerebella) | Грибница слабо развитая, вначале белая, затем желтая или коричневая | Пленки слабо развитые, желтые или коричневые | Шнуры тонкие, ветвистые, коричневые | Плодовые тела пленчатые, очень тонкие, желтоватые или коричневые, гименофор гладкий или бугорчатый |
| 4 Пластинчатый шахтный гриб (Paxillus) | Грибница слабо развитая, сначала белая, затем зеленовато-желтая, иногда лиловая | Пленки неразвитые | Шнуры тонкие, нитевидные, сильно развитые разветвленные, сначала белые, затем зеленовато-желтые, иногда лиловые | Плодовые тела в виде шляпок без ножек, светло-желтые; гименофор пластинчатый |
| *Гименофор – часть плодового тела | | | | |

Таблица В.3 – Оценка технического состояния деревянных конструкций по внешним признакам

| Категория состояния конструкции | Признаки силовых воздействий на конструкцию | Признаки воздействия внешней среды на конструкцию |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 исправное | Нет | Волосные усадочные трещины в конструкциях |
| 2 работоспособное | Ослабление креплений отдельных болтов, хомутов, скоб | Большие щели между досками наката и балками перекрытия |
| 3 ограниченно работоспособное | Продольные трещины в конструкциях. Сдвиги и отслоения в швах и в узлах конструкций заметные на глаз. Прогибы изгибаемых элементов превышают предельные значения СП 64.13330.2017 | Следы протечек, мокрые пятна в конструкциях. Гниль в мауэрлате и в концах стропильных ног, снижающая прочность до 15% |
| 4 недопустимое | Глубокие трещины в элементах. Трещины в работающих на скалывание торцах по ширине более 25% от толщины элемента. Сильное обмятие и зазоры более 3 мм в рабочих поверхностях врубок. Смятие древесины вдоль волокон по линии болтов и нагелей на ½ их диаметра. Потеря местной устойчивости элементов конструкций. прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета | Гниль в местах заделки балок в наружные стены. Гниль в мауэрлате, стропилах, обрешетке, накате, снижающая прочность до 25% |
| 5 аварийное | Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета. Быстроразвивающиеся деформации. Сквозные трещины в накладках стыков по линии болтов ферм. Трещины в растянутых элементах, выходящие на кромки. Надломы и разрушения отдельных конструкций. Скалывание вырубок. Потеря устойчивости конструкций (поясов ферм, арок, колонн) | Поражение гнилью и жучком строительных конструкций, приводящие к снижению их прочности более 25% |

Таблица В.4 – Требования к пиломатериалам

| Наименование пороков | Норма пороков для древесины сорта | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| 1. Гниль | Не допускается | | |
| 2. Червоточина | Не допускается | Допускаются только поверхностное (короед) на обзольных частях | |
| 3. Сучки, кроме несросшихся, загнивших (рыхлых) и гнилых (табачных) допускается при условии, если: а) длина 20 см сумма размеров всех сучков на пласти и кромке вне зон соединений не более | $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{3}$ соответствующей стороны элемента | | $\frac{1}{2}$ ширины пласти |
| б) в зонах соединений, кроме требований п. «а», размер каждого сучка без выхода на ребро не более | $\frac{1}{4}$ стороны элемента | | Не нормируются |
| в) на кромке склеиваемых досок, не более | $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ толщины кромки | | Не нормируются |
| 4. Сучки загнившие, несросшиеся (рыхлые) и гнилые (табачные) допускаются в элементах 2-го и 3-го сорта в норме сучков п.3,а,б,в, но при условии, если: | | | |
| а) размер сучка не превышает | Не допускается | 20 мм | 50 мм |
| б) количество сучков на длине 1м | Не допускается | 1 шт | 2шт |
| 5. Сучки – пасынки | Не допускается | Не нормируются | |
| 6. Косослой на длине 1 м не более | 7 см | 10 см | 15 см |
| 7. Трещины вне зоны соединений допускаются: а) глубиной не более | $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{3}$ толщины элемента | | Не нормируются |
| б) длиной не более | $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{3}$ длины элемента | | Не нормируются |

Таблица В.5 – Требования к бревнам

| Наименование пороков | Норма пороков для древесины сорта | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| 1. Гниль | Не допускается | | |
| 2. Червоточина | Не допускается | | Допускается только поверхностная |
| 3. Сучки, кроме рыхлых и табачных, допускаются при условии, если:<br>а) расстояние между мутовками не более | 50 см | 30 см | Не нормируется |
| б) сумма размеров всех сучков в пределах одной мутовки не более | $^3/_4$ | 1<br>диаметра бревна | Не нормируется |
| в) размеры сучков вне зон соединений не более | $^1/_4$ | $^1/_3$<br>диаметра бревна | Не нормируется |
| г) размеры сучков в зонах соединений не более | | $^1/_4$<br>диаметра бревна | Не нормируется |
| 4. Сучки рыхлые и табачные допускаются в 3-го сорта при условии, если:<br>а) размеры сучков не превышает | Не допускаются | | $^1/_5$<br>диаметра бревна |
| б) количество сучков на длине 2м не более | Не допускаются | | 1 шт |
| 5. Пасынки | Не допускаются | | Не нормируются |
| 6. Косослой на 1м длины не более | 10 см | 15 см | Не нормируется |
| 7. Трещины вне зон соединений:<br>а) глубиной (суммарной в случае симметричного расположения трещин на противоположных сторонах элемента) не более | $^1/_4$ | $^1/_3$<br>диаметра бревна | Не нормируются |
| б) протяжением каждая не более | $^1/_3$ | $^1/_2$<br>диаметра бревна | Не нормируется |
| Трещины в зонах соединений по плоскостям скалывания | Не допускаются | | Не допускаются |

# Приложение Г
***(справочное)***

ТаблицаГ.1 – Характерные повреждения и дефекты стальных конструкций

| Вид повреждений и дефектов, места их расположения и характерные признаки обнаружения | Возможные причины возникновения и методы обнаружения | Возможные последствия и меры по предотвращению дальнейшего развития или устранению |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Колонны – отклонение осей от вертикали, смещение опорных элементов (пятна, консоль, оголовок) | Неравномерные осадки фундаментов, перегрузки и динамические воздействия. Метод обнаружения – визуально инструментальный | Появление эксцентриситетов, снижение несущей способности. Снижение пространственной жесткости вплоть до потери устойчивости. Устранение причин смещений, усиление по расчету. Демонтаж и восстановление проектного положения при величине смещений, превышающих предельно допустимые |
| 2 Балки, ригели, прогоны – прогибы, смещение опорных узлов по вертикали и в осях, смещение прогонов, смещения осей подкрановых рельсов и балок, выпучивание стенок сплошных балок и др. | То же | То же |
| 3 Фермы – отклонение расстояний по верхним поясам ферм, выход из плоскости поясов ферм и раскосов, смещение по высоте и в осях опорных узлов, нарушение соосности в узлах элементов | –“– | –“– |

Продолжение таблицы Г.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 4 Колонны – местные искривления ветвей сквозных колонн, разрывы стержней соединительной решетки, местные прогибы стенок и полок сплошных колонн, разрывы их полок и стенок, пробоины и трещины, разрывы сварных швов, ослабление болтовых и заклепочных соединений | Перегрузки, ударные и динамические воздействия. Метод обнаружения – визуально-инструментальный | Снижение несущей способности потеря устойчивости, возможно полное разрушение. Усиление по расчету |
| 5 Балки, ригели, прогоны - местные искривления полок, стенок и ребер; разрывы трещины в стенах и полках; разрывы и трещины в стенках и полках; разрывы сварных швов; ослабление болтовых и заклепочных соединений | Перегрузки, ударные и динамические воздействия. Метод обнаружения – визуально-инструментальный | Снижение несущей способности потеря устойчивости, возможно полное разрушение. Усиление по расчету |
| 6 Фермы – трещины и разрывы в поясах, раскосах, косынках и фасонках, местные искривления поясов и раскосов; разрывы сварных швов; ослабление болтовых и заклепочных соединений | То же | То же |
| 7 Превышение прогибов изгибаемых элементов предельно допустимых значений | Перегрузки, динамические и сейсмические воздействия. Метод обнаружения – визуально-инструментальный | Снижение несущей способности. Необходимы демонтаж и правка или усиление по расчету |

Продолжение таблицы Г.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 8 Искривление сжатых и растянутых стержней ферм $f$ >1/400 | То же | Снижение несущей способности. Необходимы правка стержней или усиление по расчету |
| 9 Ржавчина, отслоение коррозированного слоя: точечная: каверны, язвы; местная: язвенная, пятнами или равномерная; сплошная равномерная; неравномерная язвенная; приузловая (сварные швы, заклепки, болты): равномерная, неравномерная, язвенная | Нарушение антикоррозионных покрытий, агрессивная среда (жидкости и газы); нарушение тепловлажностного режима; блуждающие токи. Метод обнаружения – визуально-инструментальный | Уменьшение площади рабочего сечения элементов металлоконструкций, снижение несущей способности. Очистка от ржавчины, восстановление антикоррозионного покрытия. Усиление по расчету |
| 10 Деформации элементов металлоконструкций: мало деформированы, нагар легко счищается, твердость соответствует проектной; | Воздействие высоких температур: кратковременное при $t = 400 - 600\,°C$. Методы обнаружения визуально-инструментальный и лабораторный | Использование конструкций не ограниченно |
| то же при трудно счищаемом слое окалины, твердость соответствует проектной; | То же при температуре $t = 700 - 900\,°C$ | То же с запрещением горячей обработки |
| то же при отслаивающемся местами слое окалины, твердость ниже марки стали до 15%; | То же при температуре свыше $900\,°C$ | То же с снижением нагрузок на 25% |
| сильно деформированы, толстый слой окалины, твердость снижена до 30 % и более; | Длительное воздействие при температуре свыше $900\,°C$ | Возможно использование в нерабочих элементах |

Продолжение таблицы Г.1

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| то же при наличии изломов, оплавлений, надрывов, пережогов | То же при температуре свыше 1400 °С | Полная потеря несущей способности |

Таблица Г.2 – Классификация и причины возникновения дефектов и повреждений в металлических конструкциях

| Вид дефектов | Возможные причины появления |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Отклонение от геометрических размеров (размеров сечений, длин элементов, генеральных размеров конструкций), принятых в проекте, способствующие ослаблению элементов и внецентренному приложению нагрузок | Ошибки при изготовлении и монтаже металлических конструкций из-за несоблюдения допусков |
| Расцентровка и неточная подгонка элементов в узлах сопряжений | Ошибки проектирования, нарушения точности при изготовлении и монтаже |
| Искривление элементов металлических конструкций, превышающие допустимые | Отсутствие правки металла перед изготовлением конструкций, появление остаточных сварных напряжений, нарушения правил транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации металлических конструкций |
| Местные прогибы элементов металлических конструкций | Нарушение правил транспортировки, хранения, монтажа и эксплуатации металлических конструкций |
| Отклонения металлических конструкций от проектного положения | Нарушение точности при изготовлении и монтаже: нарушение правил эксплуатации |
| Вырезы, ослабляющее сечение элементов | Нарушение правил эксплуатации |
| Хрупкие или усталостные трещины в основном металле | Конструктивные недоработки, неправильный выбор марки стали при эксплуатации конструкций в условиях вибрационных и динамических нагрузок |
| Расстройство болтовых и заклепочных соединений | Конструктивные недостатки, не учтены особенности силового нагружения |
| Разрушение защитных покрытий и коррозии металла | Низкое качество защитных материалов, их неправильный выбор, нарушение правил эксплуатации |

Продолжение таблицы Г.2

| 1 | 2 |
|---|---|
| Деформации конструкций | Неравномерные осадки и крены фундаментов, температурные воздействия, нарушение правил эксплуатации |
| Трещины в сварных швах | Конструктивные недоработки. Влияние остаточных сварных напряжений из-за нарушения режима сварки |

Таблица Г.3 – Степени повреждения, категории технического состояния стальных конструкций и характеризующие их признаки

| Степень повреждения | Снижение несущей способности, % | Характерные признаки повреждения | Категория технического состояния конструкций |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| I – незначительная | 0–5 | Видимые повреждения конструктивных элементов, антикоррозионных, лакокрасочных и огнезащитных покрытий отсутствуют. Прогибы не превышают предельно допустимых значений | Исправное. Необходимость в проведении ремонтно-восстановительных работ отсутствует |
| II – слабая | До 15 | Небольшие вмятины второстепенных и несильно загруженных элементов; местные искривления, не снижающие несущей способности. Прогибы не превышают предельно допустимых. Потери площади рабочего сечения не превышают 5% | Работоспособное. Конструкции используются без ограничений. Необходимы правка стержней и восстановление защитных покрытий |
| III – средняя | До 25 | Повреждения снижают несущую способность, но не сопровождаются потерей несущей способности основных элементов (разрыв второстепенных элементов по всему сечению или их искривление на большой длине, местные искривления основных элементов и т.д.). | Ограниченно работоспособное. Необходимы подведение дополнительных стоек, распорок, упоров и т.п. Необходим ремонт по месту без демонтажа конструктивных элементов. |

Продолжение таблицы Г.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| | | Прогибы не превышают предельно допустимых значений | Необходима разгрузка элементов до окончания ремонта |
| IV – сильная | До 50 | Полная потеря несущей способности при эксплуатационных нагрузках. Разрушение узлов и соединений. Разрывы по всему сечению или искривления на большой длине основных элементов. Прогибы превышают предельно допустимые значения. Существует опасность для людей и сохранности оборудования | Недопустимое. Необходимо прекращение эксплуатации. Подведение временных опор и креплений. Необходимы демонтаж и ремонт конструкций или их замена |
| V – полное разрушение | Более 50 | Полная потеря несущей способности, существует опасность обрушения конструкций и частей здания | Аварийное. Немедленное прекращение эксплуатации. Ограждение опасных зон, разгрузка конструкций и их разборка с проведением страховочных мероприятий |

Таблица Г.4 – Оценка технического состояния стальных конструкций по внешним признакам

| Категория состояния конструкций | Признаки силовых воздействий на конструкцию | Признаки воздействия |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 – Исправное | Нет | Нет |
| 2 – Работоспособное | Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 5 % | Местами разрушено антикоррозионное покрытие. На отдельных участках коррозия отдельными пятнами с поражением до 5% сечения. |
| 3 – Ограниченно работоспособное | Прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролета. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 15 %. Погнутость узловых фасонок ферм | Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения несущих элементов до 15%. |
| 4 – Недопустимое | Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета. Потеря местной устойчивости конструкций (выпучивание стенок и поясов балок и колонн). Срез отдельных болтов или заклепок в многоболтовых соединениях. Наличие трещин во второстепенных элементах. Механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 25%. | Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов до 25%. Трещины в сварных швах или околошовной зоне. Отклонения ферм от вертикальной плоскости более 15 мм. Расстройство узловых соединений от поворачивания болтов или заклепок. |

Продолжение таблицы Г.4

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 5 – Аварийное | Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета. Потеря общей устойчивости балок или сжатых элементов. Разрыв растянутых элементов ферм. Наличие трещин в основном материале элементов. | Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25%. Расстройство стыков со взаимным смещением опор. |

Таблица Г.5 – Предельно допустимые прогибы элементов стальных конструкций

| Виды элементов конструкций и виды прогибов | Величина предельно допустимого прогиба, $f$ |
|---|---|
| 1 | 2 |
| 1 Прогибы при наличии нагрузок от кровли (искривление в плоскости наибольшего момента инерции) | 1/100 |
| 2 То же, при отсутствии нагрузок от кровли | 1/150 |
| 3 Главные балки рабочих площадок производственных зданий, междуэтажных перекрытий и др. (искривление в плоскости наибольшего момента инерции сечения) | 1/300 |
| 4 Подкрановые балки $Q = 50$ т (искривление в плоскости наибольшего момента инерции сечения) | 1/500 |
| 5 Фермы при наличии нагрузок на кровлю (просадка в вертикальной плоскости) | 1/200 |
| 6 Искривление сжатых стержней ферм | 1/400 |
| 7 Искривление растянутых элементов ферм | 1/100 |

Таблица Г.6 – Швеллеры с уклоном внутренних граней полок

| Номер швеллера | $h$ | $b$ | $s$ | $t$ | $R$ | $r$ | Площадь поперечного сечения, $см^2$ | Масса 1 м, кг | Справочные значения для осей | | | | | | | $z_0$, см |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Не более | | | | $X-X$ | | | | $Y-Y$ | | | |
| | мм | | | | | | | | $I_x$, $см^4$ | $W_x$, $см^3$ | $i_x$, см | $S_x$, $см^3$ | $I_y$, $см^4$ | $W_y$, $см^3$ | $i_y$, см | |
| 5 | 50 | 32 | 4,4 | 7,0 | 6,0 | 2,5 | 6,16 | 4,84 | 22,8 | 9,1 | 1,92 | 5,59 | 5,61 | 2,75 | 0,95 | 1,16 |
| 6,5 | 65 | 36 | 4,4 | 7,2 | 6,0 | 2,5 | 7,51 | 5,90 | 48,6 | 15,0 | 2,54 | 9,00 | 8,70 | 3,68 | 1,08 | 1,24 |
| 8 | 80 | 40 | 4,5 | 7,4 | 6,5 | 2,5 | 8,98 | 7,05 | 89,4 | 22,4 | 3,16 | 23,30 | 12,80 | 4,75 | 1,19 | 1,31 |
| 10 | 100 | 46 | 4,5 | 7,6 | 7,0 | 3,0 | 10,90 | 8,59 | 174,0 | 34,8 | 3,99 | 20,40 | 20,40 | 6,46 | 1,37 | 1,44 |
| 12 | 120 | 52 | 4,8 | 7,8 | 7,5 | 3,0 | 13,30 | 10,40 | 304,0 | 50,6 | 4,78 | 29,60 | 31,20 | 8,52 | 1,53 | 1,54 |
| 14 | 140 | 58 | 4,9 | 8,1 | 8,0 | 3,0 | 15,60 | 12,30 | 491,0 | 70,2 | 5,60 | 40,80 | 45,40 | 11,00 | 1,70 | 1,67 |
| 16 | 160 | 64 | 5,0 | 8,4 | 8,5 | 3,5 | 18,10 | 14,20 | 747,0 | 93,4 | 6,42 | 54,10 | 63,30 | 13,80 | 1,87 | 1,80 |
| 16а | 160 | 68 | 5,0 | 9,0 | 8,5 | 3,5 | 19,50 | 15,30 | 823,0 | 103,0 | 6,49 | 59,40 | 78,80 | 16,40 | 2,01 | 2,00 |
| 18 | 180 | 70 | 5,1 | 8,7 | 9,0 | 3,5 | 20,70 | 16,30 | 1090,0 | 121,0 | 7,24 | 69,80 | 86,00 | 17,00 | 2,04 | 1,94 |
| 18а | 180 | 74 | 5,1 | 9,3 | 9,0 | 3,5 | 22,20 | 17,40 | 1190,0 | 132,0 | 7,32 | 76,10 | 105,00 | 20,00 | 2,18 | 2,13 |
| 20 | 200 | 76 | 5,2 | 9,0 | 9,5 | 4,0 | 23,40 | 18,40 | 1520,0 | 152,0 | 8,07 | 87,80 | 113,00 | 20,50 | 2,20 | 2,07 |
| 22 | 220 | 82 | 5,4 | 9,5 | 10,0 | 4,0 | 26,70 | 21,00 | 2110,0 | 192,0 | 8,89 | 110,00 | 151,00 | 25,10 | 2,37 | 2,21 |
| 24 | 240 | 90 | 5,6 | 10,0 | 10,5 | 4,0 | 30,60 | 24,00 | 2900,0 | 242,0 | 9,73 | 139,00 | 208,00 | 31,60 | 2,60 | 2,42 |
| 27 | 270 | 95 | 6,0 | 10,5 | 11,0 | 4,5 | 35,20 | 27,70 | 4160,0 | 308,0 | 10,90 | 178,00 | 262,00 | 37,30 | 2,73 | 2,47 |
| 30 | 300 | 100 | 6,5 | 11,0 | 12,0 | 5,0 | 40,50 | 31,80 | 5810,0 | 387,0 | 12,00 | 224,00 | 327,00 | 43,60 | 2,84 | 2,52 |
| 33 | 330 | 105 | 7,0 | 11,7 | 13,0 | 5,0 | 46,50 | 36,50 | 7980,0 | 484,0 | 13,10 | 281,00 | 410,00 | 51,80 | 2,97 | 2,59 |
| 36 | 360 | 110 | 7,5 | 12,6 | 14,0 | 6,0 | 53,40 | 41,90 | 10820,0 | 601,0 | 14,20 | 350,00 | 513,00 | 61,70 | 3,10 | 2,68 |
| 40 | 400 | 115 | 8,0 | 13,5 | 15,0 | 6,0 | 61,50 | 48,30 | 15220,0 | 761,0 | 15,70 | 444,00 | 642,00 | 73,40 | 3,23 | 2,75 |