

**Владимирский государственный университет**

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
И УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ**

**Учебное пособие**

**Владимир 2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие

*Электронное издание*



Владимир 2024

ISBN 978-5-9984-1810-5

© ВлГУ, 2024

УДК 624.012  
ББК 38.5

**Авторы:** М. В. Лукин, М. С. Лисятников, М. В. Попова,  
Д. А. Чибрикин, С. И. Рощина

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор  
зав. кафедрой железобетонных и каменных конструкций  
Донского государственного технического университета  
*Д. Р. Маилян*

Кандидат технических наук, доцент  
зав. кафедрой автомобильных дорог  
Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*А. В. Вихрев*

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Техническая** эксплуатация и усиление деревянных конструкций [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. В. Лукин [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2024. – 176 с. – ISBN 978-5-9984-1810-5. – Электрон. дан. (6 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Изложены основные положения организации технической эксплуатации деревянных конструкций. Рассмотрены вопросы оценки технического состояния, ремонта и усиления основных деревянных строительных конструкций: прогонов и панелей покрытия, рам, деревянных и металлодеревянных ферм, клееных и цельнодеревянных балок, деревоклееных колонн, связей и ограждающих конструкций. Приведены расчеты на примере зданий складского назначения.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01, 08.04.01 «Строительство», может быть рекомендовано при выполнении научно-исследовательской работы специалистами указанного направления.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 22. Ил. 71. Библиогр.: 23 назв.

ISBN 978-5-9984-1810-5

© ВлГУ, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
Глава 1. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, КОНСТРУИРОВАНИЮ, ИЗГОТОВЛЕНИЮ, МОНТАЖУ И ВЫПОЛНЕНИЮ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ДЛЯ НЕСУЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	7
1.1. Критерии и классификация несущих деревянных конструкций и их узловых соединений .....	7
1.2. Основные количественные и качественные показатели для оценки ремонтпригодности несущих деревянных конструкций .....	16
1.3. Зависимость сроков службы зданий от показателей ремонтпригодности несущих деревянных конструкций ....	18
1.4. Классификация методов расчета остаточного ресурса .....	18
1.4.1. Оценка остаточного ресурса по величине физического износа .....	21
1.4.2. Оценка гамма-процентного ресурса деревянных конструкций .....	21
1.4.3. Оценка остаточного ресурса по критерию предельного физического износа .....	23
1.4.4. Оценка остаточного ресурса по величине физического износа и стоимости ущерба .....	23
1.5. Мировой опыт исследований оценки ремонтпригодности на этапах проектирования, конструирования, изготовления и монтажа деревянных конструкций, а также выполнения ремонтных работ по восстановлению работоспособности несущих деревянных конструкций .....	24
<i>Вопросы для самоконтроля .....</i>	<i>32</i>

Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	33
2.1. Надежность деревянных строительных конструкций .....	33
2.2. Рекомендации по технической эксплуатации зданий, возведенных с применением деревянных конструкций....	44
2.3. Защита деревянных конструкций от гниения и возгорания .....	75
<i>Вопросы для самоконтроля</i> .....	81

Глава 3. ОСНОВНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ .....	82
3.1. Особенности оценки технического состояния деревянных конструкций.....	82
3.2. Классификация дефектов и аварий деревянных конструкций по причинам их возникновения .....	92
3.3. Методика оценки ремонтпригодности несущих деревянных конструкций.....	103
3.3.1. Определение надежности конструкций.....	104
3.3.2. Определение остаточного ресурса деревянных конструкций .....	108
3.4. Методы определения физического износа конструкций .....	111
3.5. Общие подходы к проведению испытаний эксплуатируемых элементов деревянных конструкций .....	116
3.5.1. Места для отбора заготовок для изготовления образцов .....	116
3.5.2. Изготовление образцов.....	118
3.5.3. Определение физико-механических характеристик образцов.....	119
3.5.4. Планирование экспериментального исследования .....	120
3.5.5. Методика проведения экспериментального исследования .....	121
3.5.6. Оборудование и приборы для проведения экспериментального исследования.....	124

3.5.7. Нормативные физико-механические характеристики древесины .....	125
3.5.8. Характер разрушения образцов древесины .....	126
3.5.9. Статистическая обработка данных.....	126
<i>Вопросы для самоконтроля</i> .....	127
<b>Глава 4. РЕМОНТ И УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b> .....	128
4.1. Состав проекта усиления строительных конструкций из древесины .....	128
4.2. Производство работ по усилению .....	129
4.3. Классификация методов усиления деревянных конструкций .....	132
4.3.1. Усиление конструкций без изменения схемы работы .....	132
4.3.2. Усиление конструкций с изменением прежней схемы работы .....	148
4.4. Основные принципы проектирования и расчета усиления деревянных строительных конструкций .....	151
4.4.1. Усиление конструкций подведения дополнительных элементов .....	154
4.4.2. Усиление конструкций накладками .....	156
4.4.3. Усиление конструкций стальной арматурой .....	158
4.4.3.1. Инженерный метод расчета .....	158
4.4.3.2. Численный метод расчета .....	161
4.4.4. Усиление конструкций композитами .....	169
<i>Вопросы для самоконтроля</i> .....	171
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	172
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	174

## ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии изложены рекомендации по технической эксплуатации, оценке технического состояния и усилению деревянных конструкций. Они направлены на предупреждение преждевременного износа и обеспечение безаварийной работы зданий и сооружений в процессе всего срока их службы. Такая цель достигается при осуществлении системы технического обслуживания, ремонта и усиления строительных конструкций, а также ремонта инженерного оборудования здания. Общие указания о функционировании такой системы и принципах ее организации установлены строительными нормами и правилами. Ведущая роль в предупреждении преждевременного износа зданий и безаварийной работы в процессе эксплуатации принадлежит службам, занятым техническим обслуживанием и ремонтом.

Для своевременного выполнения работ по текущему ремонту деревянных конструкций зданий и сооружений необходимы их правильное планирование и соответствующая подготовка к производству ремонтных работ при максимальной экономии затрат труда, широком использовании средств малой механизации и передовой технологии.

Для решения задач технической эксплуатации деревянных конструкций используют:

- 1) отечественные и зарубежные исследования, затрагивающие особенности проектирования, конструирования, изготовления, монтажа и выполнения ремонтных работ для несущих деревянных конструкций и их узловых соединений;
- 2) защиту деревянных конструкций от гниения и возгорания;
- 3) оценку технического состояния деревянных конструкций;
- 4) методику оценки ремонтпригодности несущих деревянных конструкций.

В настоящем издании рассмотрены основные положения организации технической эксплуатации деревянных конструкций; основные повреждения строительных конструкций на основе древесины; вопросы, связанные с ремонтом и усилением деревянных конструкций.

# Глава 1. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, КОНСТРУИРОВАНИЮ, ИЗГОТОВЛЕНИЮ, МОНТАЖУ И ВЫПОЛНЕНИЮ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ДЛЯ НЕСУЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

## 1.1. Критерии и классификация несущих деревянных конструкций и их узловых соединений

Несущие деревянные конструкции (ДК) классифицируются по следующим критериям [6]:

- по статической схеме;
- своей роли в несущем остове здания;
- по типу сечения.

По статической схеме конструкции из древесины могут представлять собой стойки, балки, прогоны, настилы (рис. 1.1), панели (рис. 1.2), фермы (стержневые и дощатые) (рис. 1.3), арки (рис. 1.4), рамы (рис. 1.5), своды (рис. 1.6).

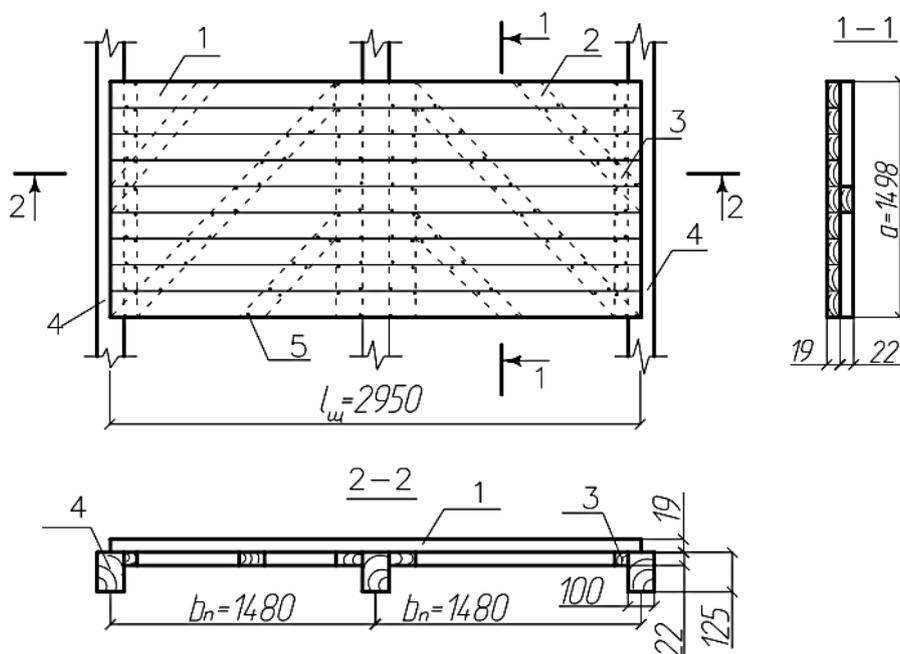


Рис. 1.1. Щит с однослойным сплошным настилом:

1 – доски сплошного настила; 2 – раскосы;  
3 – поперечины; 4 – прогоны; 5 – гвозди

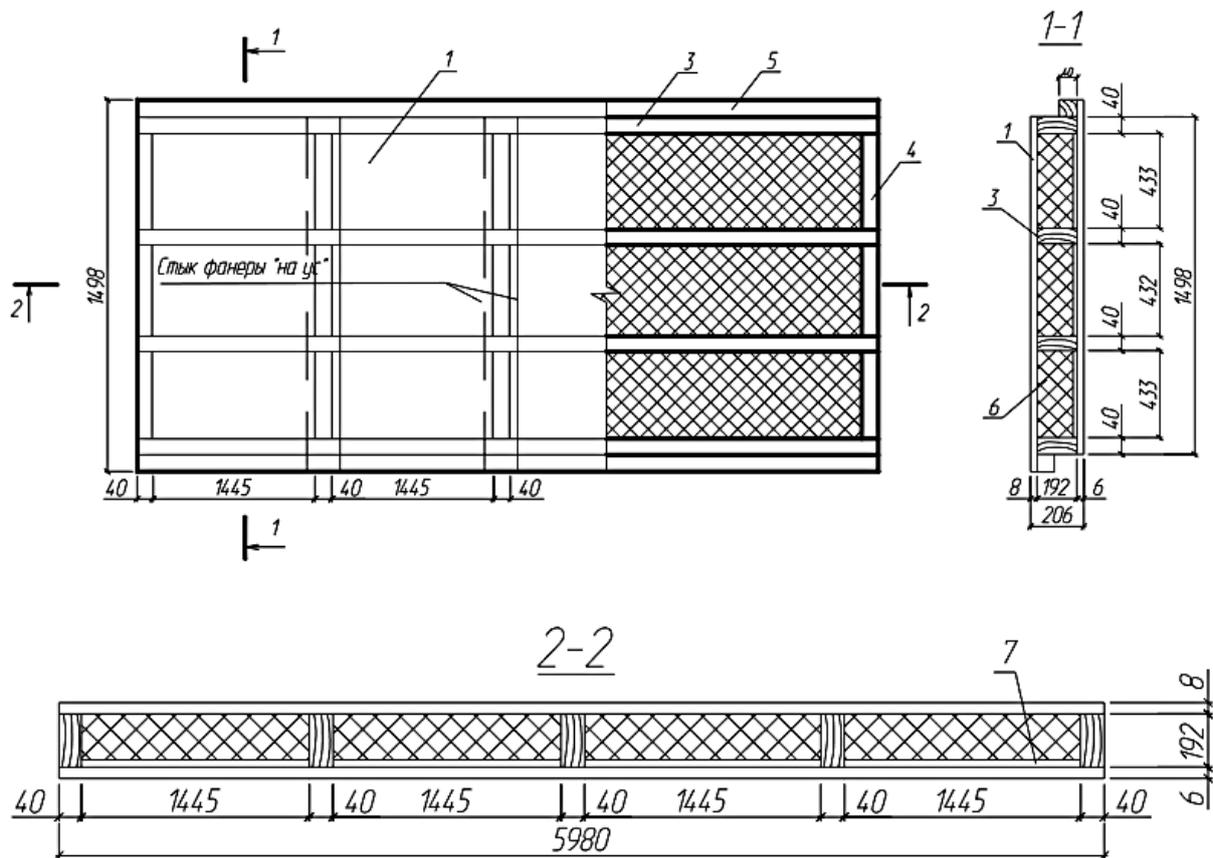


Рис. 1.2. Клефанерная панель покрытия: 1 – верхняя обшивка; 2 – нижняя обшивка; 3 – продольные ребра; 4 – поперечные ребра; 5 – соединительные бруски; 6 – утеплитель; 7 – пароизоляция

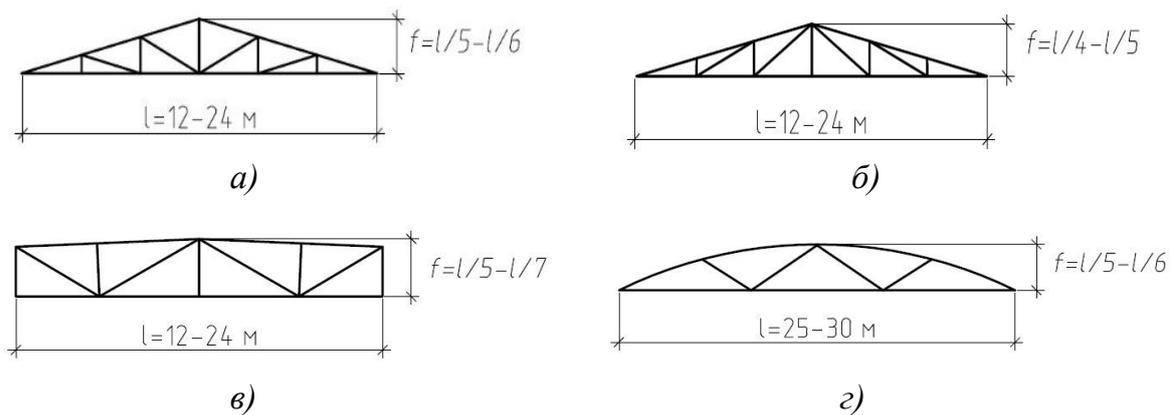


Рис. 1.3. Кледеревянные фермы: а – треугольная с нисходящими раскосами; б – то же с восходящими раскосами; в – сегментная; г – пятиугольная

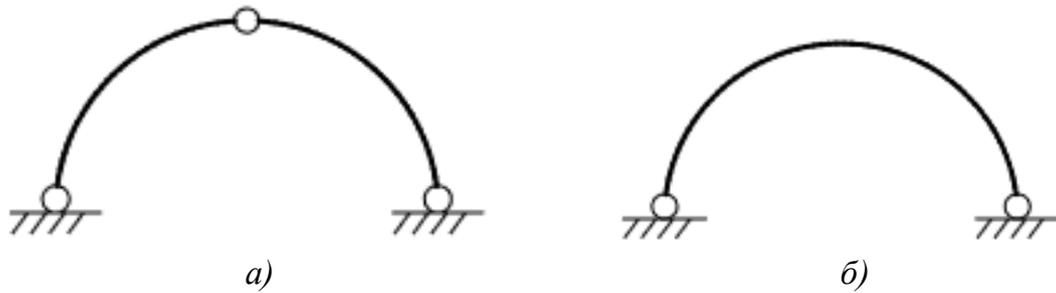


Рис. 1.4. Деревянные арки: а – трехшарнирные; б – двухшарнирные

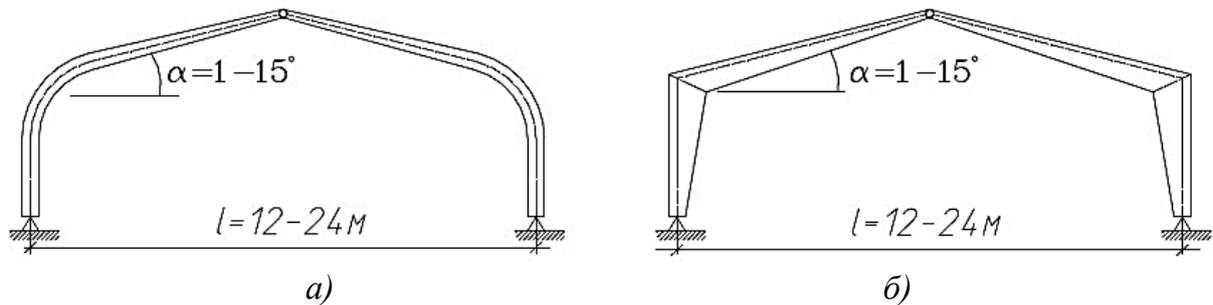


Рис. 1.5. Кледеревянные трехшарнирные рамы: а – гнутоклееная; б – ломаноклееная

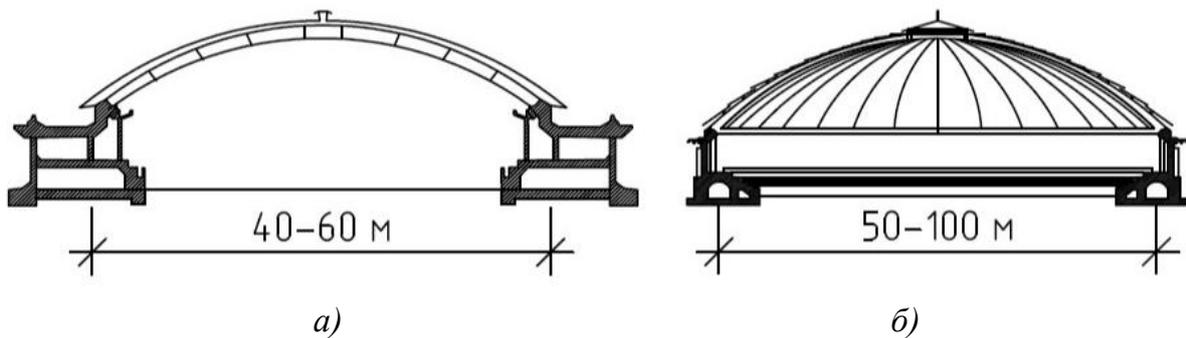


Рис. 1.6. Кледеревянные трехшарнирные рамы: а – кружально-сетчатый свод из клефанерных косяков; б – купольное покрытие

В несущем остове здания деревянные конструкции могут располагаться как в вертикальной плоскости (стенное заполнение, колонны, стойки), так и в горизонтальной.

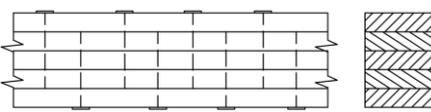
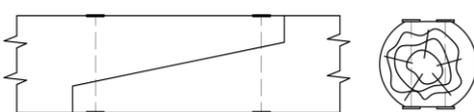
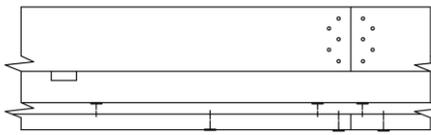
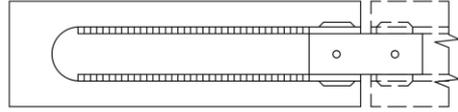
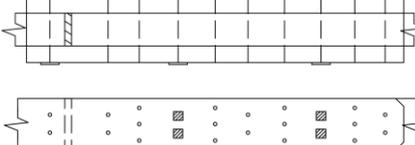
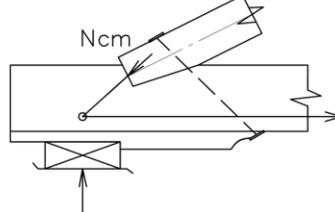
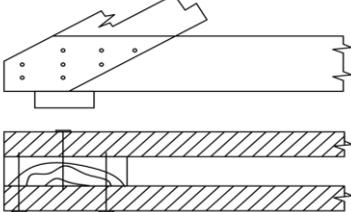
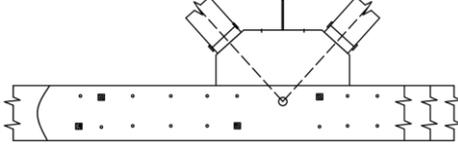
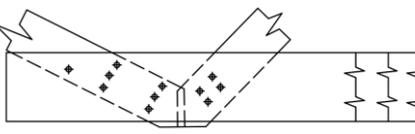
По типу сечения конструкции могут быть из цельной и клееной древесины.

Так как строительная древесина имеет ограниченные размеры (длина 6,5 м, диаметр 0,25 м), то при проектировании деревянных конструкций не обойтись без применения соединений.

Соединения могут потребоваться и в целях повышения несущей способности деревянных конструкций. Для этого применяют сплачивание (увеличение сечения в поперечном направлении), наращивание (в продольном направлении конструкции) и узловые соединения бревен, брусьев, досок и брусков.

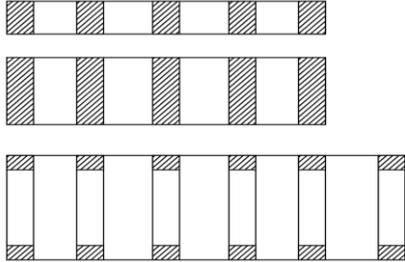
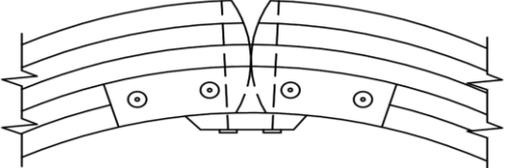
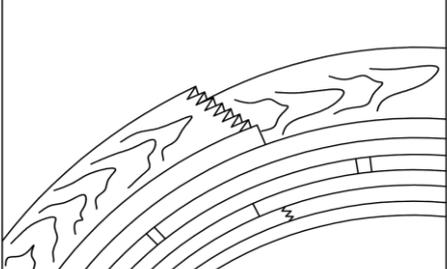
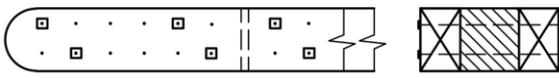
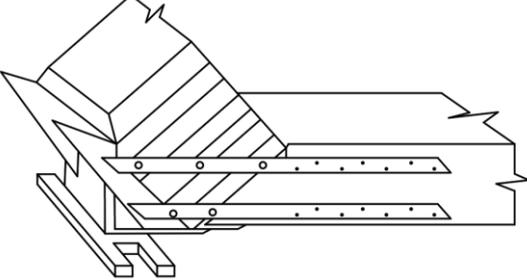
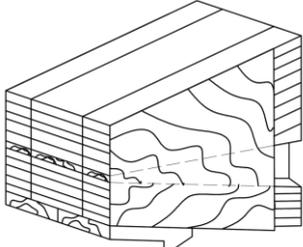
Классификация узловых соединений приведена в табл. 1.1.

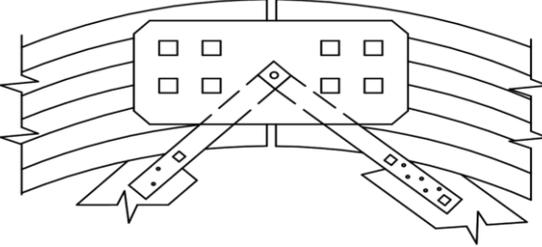
Таблица 1.1. Классификация узловых соединений

Вид соединений	Эскиз	
Сплачивание	 <p data-bbox="507 840 893 913">На пластинчатых нагелях в балках В. С. Деревягина</p>	 <p data-bbox="1093 862 1252 896">На гвоздях</p>
Сращивание: а) сжатый стык, как правило, решается простым лобовым упором	 <p data-bbox="470 1064 928 1142">Косым прирубом в консольно-балочных прогонах</p>	 <p data-bbox="981 1086 1364 1153">Гвоздевые связи в стыках неразрезных прогонов</p>
б) растянутый стык	 <p data-bbox="534 1310 869 1377">Полосовыми шайбами на глухих нагелях</p>	 <p data-bbox="1093 1344 1252 1377">На гвоздях</p>
Узловые соединения: а) в опорных узлах	 <p data-bbox="558 1624 845 1657">На лобовой врубке</p>	 <p data-bbox="1093 1624 1252 1657">На гвоздях</p>
б) в промежуточных узлах	 <p data-bbox="470 1825 928 1937">Лобовым упором подкосов в среднем узле нижнего пояса треугольной фермы</p>	 <p data-bbox="1005 1836 1348 1915">На гвоздях или тонких стальных нагелях</p>

Классификация стыков деревянных элементов по месту изготовления представлена в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Классификация стыков деревянных элементов по месту изготовления

Монтажные	Заводские
<p>В заводском производстве размеры поперечного сечения клееных деревянных конструкций не ограничиваются, дальнейшее монтажное сплачивание их не требуется</p>	 <p>Клефанерные панели трех типов (поперечное сечение)</p>
 <p>Шарнирный стык в арочных и рамных конструкциях</p>	 <p>Унифицированное заводское стыкование досок на зубчатый шип</p>
 <p>На цилиндрических стальных нагелях (малого диаметра)</p>	 <p>Зубчатый стык в гощатоклееных элементах</p> <p>уc      бф</p> <p>Стыкование фанеры на "уc" l<sub>уc</sub>40-мбф</p>
 <p>На полосовых шайбах нагельного типа</p>	 <p>Опорный узел клефанерной балки, <math>l \approx 12</math> м</p>

Монтажные	Заводские
 <p data-bbox="252 611 730 689">На полосовых шайбах при знакопеременных усилиях</p>	<p data-bbox="794 421 1385 622">Элементы сквозных конструкций целесообразно транспортировать в разобранном виде; узловые соединения их должны быть, как правило, сборными (монтажными)</p>

Соединение элементов деревянных конструкций в настоящее время осуществляют большей частью при помощи специальных деревянных, металлических, пластмассовых и других рабочих связей. Исключение составляют сжатый стык и врубки, решаемые, как правило, путем непосредственного упора соответственно опиленных элементов.

Следует иметь в виду, что признак работы на сжатие, изгиб, растяжение и сдвиг относится лишь к самой связи, а не к соединению в целом. Так, например, растянутый стык может быть выполнен и на изгибаемых связях, т. е. на нагелях. Работа связей на смятие не может служить определяющим признаком, поскольку она характеризует поверхностное действие и противодействие соединяемых частей, свойственные всем видам врубок, шпонок, нагелей и растянутых связей; например, растянутые болты передают усилие обычно через шайбу, взаимодействующую с поверхностью древесины тоже путем смятия. Только в соединении на клеях передача основного усилия происходит путем работы клевого шва не на смятие, а на сдвиг.

Соединения деревянных конструкций разделяются на податливые и жесткие. К первым следует относить соединения на цилиндрических и пластинчатых нагелях, металлических зубчатых пластинах (МЗП), металлических нагельных пластинах (МНП), ввинченных стержнях, врезках и врубках. К жестким следует относить клеевые соединения древесины с древесиной и с другими плитными материалами, а также соединения на вклеенных стальных или стеклопластиковых стержнях.

В зоне соединений не допускается наличие дефектов и повреждений древесины (трещины, гниль, несросшиеся сучки и т. п.).

При отсутствии методики по расчету новых видов соединений разрешается определять их несущую способность и деформативность на основе испытаний в соответствии с требованиями действующих стандартов.

Клеевые соединения следует использовать:

- для образования сплошного сечения многослойных клеодощатых и клееных брусчатых и бревенчатых элементов путем сплачивания слоев досок (ламелей) по высоте и/или по ширине сечения (рис. 1.7);
- стыкования на зубчатый шип и на «ус» пиломатериалов и фанеры;
- соединения фанеры с древесиной в клеефанерных конструкциях.

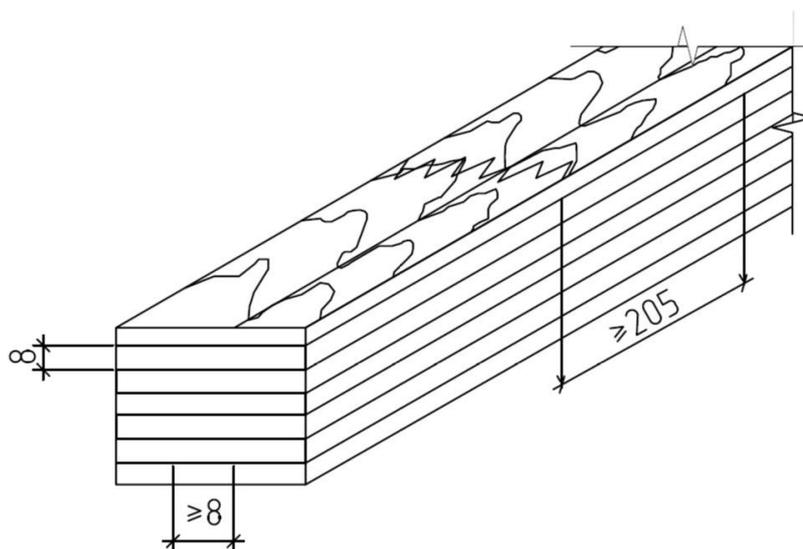


Рис. 1.7. Клеевые соединения

Соединения на врубках следует выполнять с одним зубом для брусьев и круглых лесоматериалов (рис. 1.8). Рабочая плоскость смятия во врубках должна располагаться перпендикулярно равнодействующей осевой силе сжатого сжато-изогнутого элемента, а если сжатый элемент не испытывает поперечного изгиба, то перпендикулярно его оси. Элементы, соединяемые на лобовых врубках, должны быть стянуты болтами.

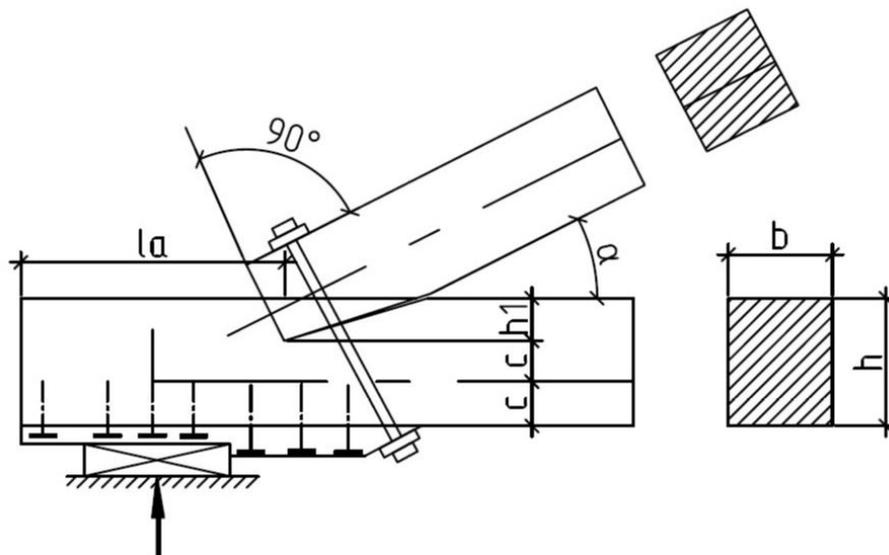


Рис. 1.8. Соединение на лобовой врубке с одним зубом

Расчетная несущая способность соединения на лобовой врубке должна приниматься равной минимальному значению, определенному из двух условий: прочности древесины на смятие рабочей плоскости под углом  $\alpha$  и прочности древесины на скалывание вдоль волокон.

Соединения на гвоздях, нагруженных по оси, допускается использовать во второстепенных элементах (настилы, подшивка потолков и др.) и в конструкциях с совместным действием на гвоздь осевого и поперечного усилий.

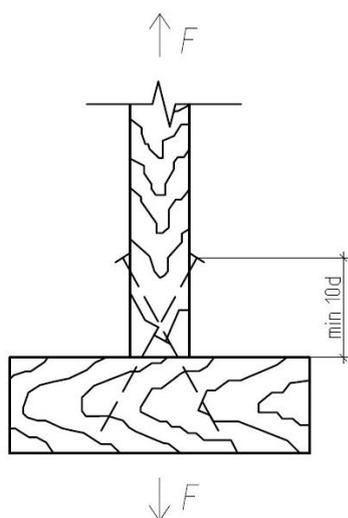


Рис. 1.9. Наклонная забивка гвоздей

Гвозди, забитые в торец в заранее просверленные отверстия, а также при динамических воздействиях считаются неспособными передавать нагрузку. Может применяться наклонная забивка гвоздей (рис. 1.9).

Вклеенные металлические стержни могут использоваться:

- для упрочнения криволинейных участков клеодошчатых балок с нормальными напряжениями, растягивающими древесину поперек волокон, при соответствующем обосновании;
- для стыковых соединений и сплачивания элементов;

– повышения сопротивления древесины смятию поперек волокон в опорных частях и местах приложения сосредоточенных нагрузок клееных деревянных элементов;

– локализации главных растягивающих напряжений в приопорных зонах клееных деревянных конструкций и в окрестностях больших сосредоточенных поперечных сил при соответствующем обосновании и соотношении  $h/b > 4$ ;

– в виде наклонных соединительных связей составных балок, растянутых стыков и анкерных креплений к фундаментам.

В качестве вклеенных в древесину стержней следует использовать стальную арматуру периодического профиля класса С400 диаметром от 12 до 25 мм. Не допускается использовать стержни, вклеенные в пазы на боковой поверхности элемента конструкции.

Схема расстановки вклеенных поперек волокон древесины стержней приведена на рис. 1.10.

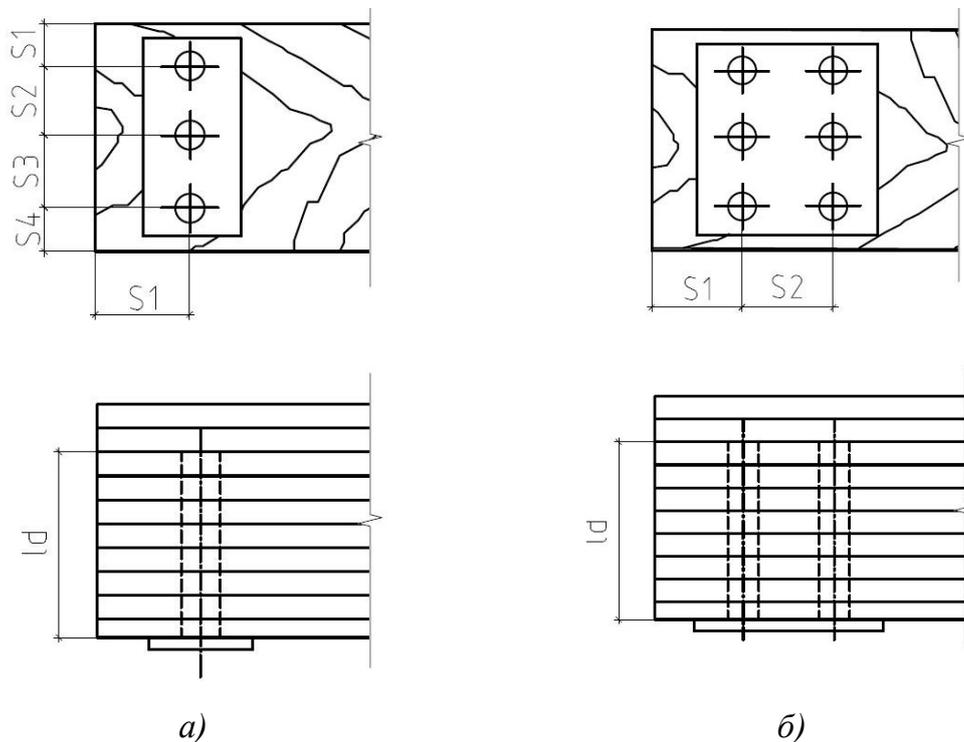


Рис. 1.10. Схема расстановки вклеенных поперек волокон древесины стержней:  
а – однорядная расстановка; б – двухрядная расстановка

## **1.2. Основные количественные и качественные показатели для оценки ремонтпригодности несущих деревянных конструкций**

В нормативной литературе нет определения понятия «ремонтпригодность». Понятия «ремонт» и «ремонтпригодность» рассматриваются в контексте долговечности конструкций и своевременного выполнения ремонтно-восстановительных работ.

В СП 64.13330 есть ссылка на п. 9.46 «Несущие деревянные конструкции (фермы, арки, балки и др.) должны быть открытыми, хорошо проветриваемыми, по возможности доступными во всех частях для осмотра, а также проведения профилактического ремонта, включающего работы по химической защите элементов конструкций».

В п. 10 СП 352.1325800 поясняется «Долговечность (срок службы многоквартирного жилого здания с деревянным каркасом) зависит от ремонтпригодности несменяемых элементов несущих конструкций деревянного каркаса». Но критерии и показатели ремонтпригодности не приведены.

В СП 255.1325800 показатель ремонтпригодности относится к основным эксплуатационным характеристикам здания (сооружения) наряду с функциональной пригодностью, безопасностью, надежностью и долговечностью.

Согласно различной методической литературе понятие надежности включает в себя безотказность, долговечность и ремонтпригодность. В случае прогрессирующих отказов аварии могут быть предотвращены своевременным ремонтом или модернизацией конструкций [17].

Восстанавливаемость – свойство объекта, заключающееся в его способности восстанавливаться после отказа без ремонта.

Конструктивные элементы, которые могут быть отремонтированы на этапе эксплуатации, обозначаются как восстанавливаемые. В противном случае, если ремонт не реализуется по техническим или экономическим причинам, они называются невозстанавливаемыми.

Качественными показателями ремонтпригодности являются:

1. Простая и легкая разборка и сборка с использованием минимального количества инструментов.
2. Конструкция должна быть разделена на легкозаменяемые элементы.

3. Возможность быстрого определения местоположения элементов конструкции, подлежащих замене.

4. Наличие четких и полных инструкций по ремонту в составе проектной и рабочей документации.

Количественными показателями ремонтпригодности и восстанавливаемости в соответствии с ГОСТ 27.002 являются вероятность восстановления, среднее время восстановления, гамма-процентное время восстановления, среднее время восстановления и интенсивность восстановления.

Вероятность восстановления может относиться как ко времени восстановления, так и к его продолжительности.

В качестве количественных значений ремонтпригодности важны следующие коэффициенты:

1. Коэффициент демонтируемости  $K_{л}$  (легкосъемности)

$$K_{л} = \frac{T_{р.с}}{T_{р.о} + T_{р.с}}, \quad (1.1)$$

где  $T_{р.с}$  – трудоемкость сопутствующих работ;  $T_{р.о}$  – трудоемкость основных работ.

Этот коэффициент оценивает необходимость демонтажа, сноса, перемещения и реконструкции всех элементов вместе с ремонтируемой конструкцией.

2. Коэффициент готовности  $K_{г}$  применяется для количественной оценки сроков нормальной эксплуатации элементов конструкции

$$K_{г} = t_{э} / (t_{э} + t_{в}), \quad (1.2)$$

где  $t_{э}$  – время эксплуатационного периода;  $t_{в}$  – время восстановления конструктивных элементов.

Коэффициент готовности определяет вероятность того, что здание будет нормально эксплуатироваться в любой момент времени.

3. Коэффициент ремонтпригодности  $K_{р}$  характеризует эксплуатационную надежность конструкций

$$K_{р} = \frac{C_0}{C_0 + C_p}, \quad (1.3)$$

где  $C_0$  – стоимость конструкций;  $C_p$  – суммарная стоимость ремонтов.

Коэффициент ремонтпригодности показывает вероятность того, что конструктивные элементы здания будут нормально эксплуатироваться. Этот показатель целесообразно определять на различных стадиях проектирования.

Проанализировав нормы других стран (Eurocode), можно сделать вывод, что не существует методики, позволяющей оценить ремонтпригодность деревянных несущих конструкций и учесть ее при определении расчетного срока службы зданий и их эксплуатации.

### **1.3. Зависимость сроков службы зданий от показателей ремонтпригодности несущих деревянных конструкций**

Физико-механические свойства древесины изменяются в процессе эксплуатации. Ремонтпригодность деревянных конструкций еще недостаточно изучена. На практике часто возникает вопрос о возможности ремонта или замены конструкций [20].

Анализируя этот вопрос и основываясь на данных, приведенных в подразд. 1.2, можно сделать вывод, что под ремонтпригодностью чаще всего понимают надежность, долговечность, техническое состояние и остаточный ресурс, или остаточную прочность, деревянной конструкции.

Проведение исследований и разработка рекомендаций по обоснованию остаточных ресурсов деревянных зданий позволит не только получить точные оценки материальных ресурсов, необходимых для ремонта, но и обосновать целесообразность строительства новых зданий и сооружений для замены существующих в случае необходимости. Поэтому данный вопрос является актуальным.

Далее проанализируем существующие методы расчета остаточного ресурса конструкций.

### **1.4. Классификация методов расчета остаточного ресурса**

Остаточный ресурс (ОР) строительных конструкций, зданий и сооружений может быть определен различными методами. Они классифицируются по следующим признакам:

- а) область использования;
- б) универсальные;

в) индивидуальные (частные);  
 г) количество и точность ключевых данных, полученных по результатам обследования (в порядке возрастания):

- вероятностные;
- вероятностно-инструментальные;
- инструментальные;

д) тип обследования:

- визуальное;
- детальное (инструментальное);
- визуальное и детальное.

Подробная структура определения остаточного ресурса с учетом классификации по областям применения приведена в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Классификация методов расчета остаточного ресурса строительных конструкций по областям их применения

Группа методов расчета ОР	Метод расчета ОР
Универсальные	С применением экспоненциального распределения По несущей способности с применением экспоненциального распределения Экспертное прогнозирование по нелинейной модели развития физического износа По коэффициенту запаса Интервальная оценка По прочности строительных конструкций По циклической нагрузке По несущей способности По критерию предельного физического износа Оценка гамма-процентного ОР По величине физического износа и стоимости ущерба
Частные (по материалу конструкции) для ДК	По длительной прочности

При разработке конструктивных решений проектировщики назначают объектам и отдельным конструкциям планируемый срок службы [13].

В нормативных документах для деревянных конструкций приняты рекомендации в зависимости от функционального назначения здания или сооружения, как показано в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Примерные сроки службы деревянных конструкций

Наименование объекта	Примерный срок службы, лет
Временные здания и сооружения (навесы для строителей и вахтовиков, временные склады, летние павильоны)	Не более 10
Конструкции, используемые в очень агрессивных средах (сосуды, резервуары и трубопроводы в нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности, сооружения в морской среде)	Не менее 25
Здания и сооружения массовой постройки при нормальных условиях эксплуатации (жилые дома, общественные и промышленные здания)	Не менее 50
Уникальные здания и сооружения (крупные музеи, хранилища национальных и культурных ценностей, монументальные произведения искусства, стадионы, театры, здания высотой более 75 м, большепролетные сооружения и т. д.)	100 и более

Для оценки остаточного ресурса необходимо определить параметры текущего технологического состояния объекта деревянного домостроения (физико-механические свойства древесины) и ожидаемые условия эксплуатации. Оба параметра влияют на критический элемент – несущую способность, деформативность деревянной конструкции во времени (рис. 1.11).

Все эти факторы могут быть использованы для оценки ремонтно-пригодности деревянных конструкций и планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту для поддержания работоспособности и долговечности таких конструкций.

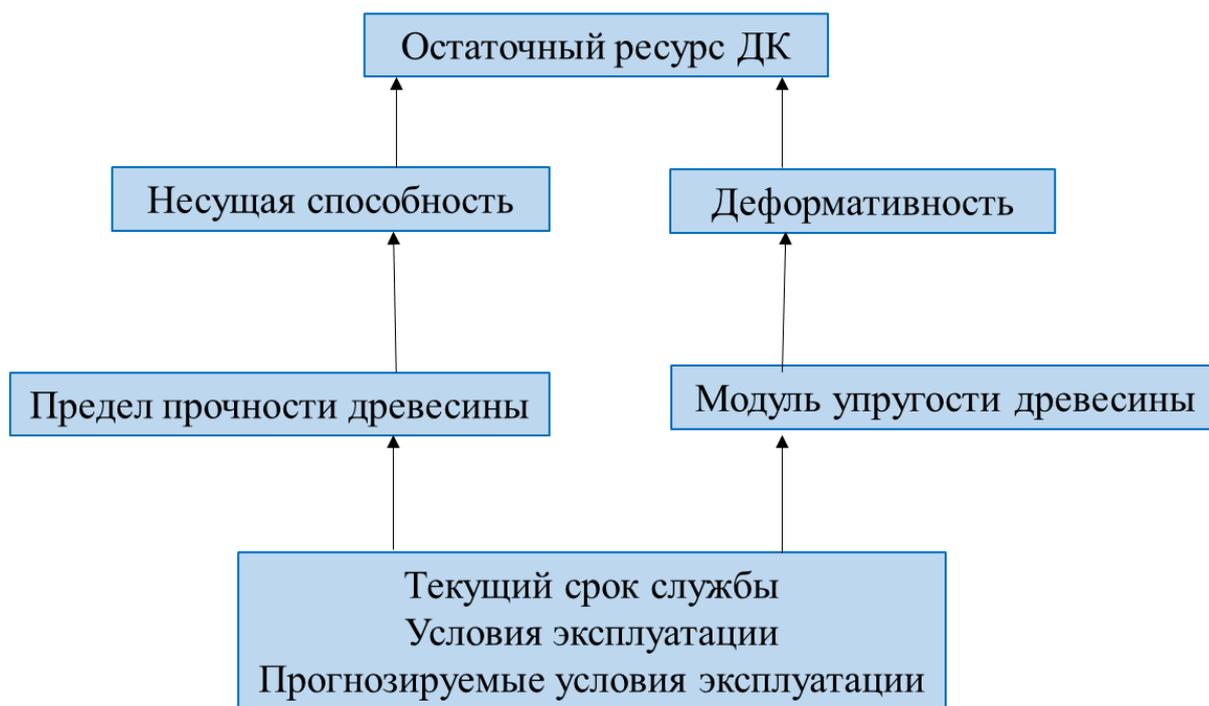


Рис. 1.11. Параметры, определяющие техническое состояние ДК

#### **1.4.1. Оценка остаточного ресурса по величине физического износа**

Основные этапы процесса определения остаточного срока службы дома с деревянными конструкциями представляют собой:

- определение наличия и местоположения деревянных конструкций;
- анализ технической документации;
- выявление дефектов и анализ причин их появления;
- анализ условий эксплуатации;
- определение величины физического износа;
- выбор методов расчета остаточного ресурса;
- расчет остаточного ресурса;
- анализ и оценка остаточного ресурса;
- принятие решения о дальнейшей эксплуатации;
- рекомендации по повышению остаточного ресурса.

#### **1.4.2. Оценка гамма-процентного ресурса деревянных конструкций**

Применение этого метода основано на предположении, что ухудшение свойств материала, следовательно, сокращение остаточного ресурса происходит по экспоненциальному распределению [14].

По результатам обследования рассчитывается гамма-процентный ресурс ( $\gamma$ ). Процесс расчета описан ниже.

1. Определить величину физического износа деревянных строительных конструкций. Для обеспечения объективности оценки следует использовать различные методы расчета.

2. Относительная надежность зависит от величины износа. Она рассчитывается по уравнениям (1.4) и (1.5) с учетом величины износа:

– для четырех категорий технического состояния

$$y = 1,0714 \cdot Ph^3 - 1,3929 \cdot Ph^3 + 0,0357Ph + 0,99; \quad (1.4)$$

– для пяти категорий технического состояния

$$y = -1,5625 \cdot Ph^4 - 3,125 \cdot Ph^3 + 2,1875 \cdot Ph^3 + +0,125 \cdot Ph + 0,99. \quad (1.5)$$

3. Назначается категория технического состояния в зависимости от величины относительной надежности согласно табл. 1.5.

Таблица 1.5. Значения относительной надежности в зависимости от категорий технического состояния

Относительная надежность $y$	Категория технического состояния
0,99 – 0,951	Нормативная
0,95 – 0,851	Работоспособная
0,85 – 0,801	Ограниченно работоспособная
0,8 – 0,7	Аварийная

В приведенной таблице значение относительной надежности менее 0,7 имеет место при достижении строительной конструкцией предельного состояния, когда остаточный срок службы равен нулю.

4. Выполняется расчет гамма-процентного ресурса.

Расчетная формула в соответствии с техническим состоянием до капитального ремонта и во время аварийной ситуации

$$t = \frac{k}{\lambda}, \quad (1.6)$$

где  $\lambda$  – постоянная физического износа, определяется по формуле

$$\lambda = -\frac{\ln y}{t_{\phi}}; \quad (1.7)$$

$$k = \ln y_{\min}, \quad (1.8)$$

где  $k$  – показатель, равный 0,162 при  $y_{\min} = 0,85$  и 0,22 при  $y_{\min} = 0,8$ .

### **1.4.3. Оценка остаточного ресурса по критерию предельного физического износа**

Этот метод определения остаточного ресурса был предложен В. И. Шестериковым. Физический износ конструкции  $U$  представляет собой потерю несущей способности.

Срок, соответствующий критическому износу:

$$T = \frac{\ln(U_{\text{кр}}+1)(t_{\text{обсл}}-t)}{\ln(U_{\text{обсл}}+1)} + t_{\text{п}}. \quad (1.9)$$

Остаточный ресурс

$$T_{\text{ост}} = T - t_{\text{факт}}, \quad (1.10)$$

где  $U_{\text{кр}}$  – критический износ, запрет эксплуатации;  $U_{\text{обсл}}$  – реальный износ на момент обследования;  $t_{\text{обсл}}$  – срок эксплуатации на момент обследования, г.;  $t_{\text{п}}$  – срок «приработки», т. е. начальный период эксплуатации, износ еще не начался, г.

### **1.4.4. Оценка остаточного ресурса по величине физического износа и стоимости ущерба**

Согласно данному методу расчет ОР проводится следующим образом [21]:

$$T = \frac{(L_c - 0,75)100\%}{\frac{\ln L}{t_{\text{осм}}} + \frac{100}{T_n}}, \quad (1.11)$$

где  $t_{\text{осм}}$  – срок службы конструкции на момент обследования, г.;  $T_n$  – сертифицированный срок службы объекта, г.,

$$L_c = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m E_{kj} \cdot Y_j}{\sum_{j=1}^m Y_j}, \quad (1.12)$$

где  $Y_j$  – коэффициенты значимости  $j$ -х типов конструкций;  $m$  – общее количество типов конструкций в системе.

Физический износ конструкции системы рассчитывается по формуле

$$E_{kj} = \sum_{i=1}^n E_i \frac{P_i}{P_k}, \quad (1.13)$$

где  $E_i$  – физический износ части конструкции;  $P_i$  – размеры пораженного участка, м или м<sup>2</sup>;  $P_k$  – размеры всей конструкции, м или м<sup>2</sup>;  $n$  – количество пораженных участков.

Относительная надежность ( $L$ ) конструкции находится по формуле

$$L = \frac{k}{k_m \cdot k_c \cdot k_f \cdot k_n}, \quad (1.14)$$

где  $k$  – фактический коэффициент безопасности (надежности), скорректированный с учетом данного ущерба;  $k_m$  – коэффициент надежности по прочности материала;  $k_c$  – коэффициент надежности по условиям работы;  $k_f$  – коэффициент надежности по нагрузке;  $k_n$  – коэффициент надежности по назначению.

### **1.5. Мировой опыт исследований оценки ремонтпригодности на этапах проектирования, конструирования, изготовления и монтажа деревянных конструкций, а также выполнения ремонтных работ по восстановлению работоспособности несущих деревянных конструкций**

Для оценки состояния деревянных конструктивных элементов в Российской Федерации разработаны рекомендации по оценке надежности конструкций зданий и сооружений по внешним признакам, а также стандарт для ремонта, консервации, реставрации и воссоздания деревянных конструкций и деталей, который устанавливает общие требования к охране деревянного культурного наследия.

Дефекты и аварии в деревянных конструкциях могут происходить по разным причинам. Можно выделить несколько причин повреждения деревянных конструкций, включая физические дефекты, окружающую среду, неправильное строительство или проектирование, время и износ.

Подробнее о дефектах и причинах их возникновения описано в гл. 3 пособия.

В Европе в рамках проекта COST Action E55 «Моделирование эксплуатационных характеристик деревянных конструкций» были разработаны общие процедуры оценки состояния конструкций и руководство

по оценке и ремонту деревянных конструкций для оценки состояния и ремонтного потенциала деревянных конструкций, а также комментарии по оценке состояния, ремонтнопригодности конструкций и методов ремонта. Поскольку в США насчитываются тысячи деревянных мостов, в штате Миннесота подготовлено руководство для инженеров по оценке состояния конструкций и проведению экономически эффективного и простого в исполнении ремонта. Для деревянных конструкций также предлагаются новые варианты ремонта на основе композитов.

S. Niederhagemann рассматривает механизмы износа, меры противодействия им и последующие методы технического обслуживания и ремонта, описывает новейшие европейские стандарты на долговечность и ремонт.

При ремонте и реставрации исторических зданий, которые в большинстве своем построены из древесины, необходимо учитывать их аутентичность. Исследование, проведенное M. Loebjinski и Ze-hui Qiao, показывает хрупкость этих конструкций и их ограниченный потенциал для новых применений и способов восстановления несущей способности.

За тысячи лет исследований древнекитайская архитектура сформировала уникальную систему деревянного домостроения и стала символом Китая. В исследованиях китайских ученых рассматривались прогностические модели, применимые для оценки безопасности деревянных конструкций с учетом биологической эрозии.

По данным анализа дефектов и повреждений, проведенного А. Г. Ройтманом и И. Г. Смоленской в 1990-х годах, 4 % аварий вызваны дефектами проектирования, 8 % – неудовлетворительной эксплуатацией, 17,6 % – некачественно изготовленными конструкциями, 41,6 % – некачественными строительно-монтажными работами и 17,6 % – сочетанием этих причин и факторов. По срокам возникновения дефектов и повреждений 48 % приходится на период строительства, 20 % – на период строительства, но без эксплуатации, и 22 % – на период эксплуатации (9 % – в течение года, 7 % – в течение 15 лет, 6 % – более 15 лет и 3 % – после капитального ремонта). По оценкам экспертов строительного комплекса Российской Федерации, конструктивные дефекты распределяются следующим образом: фундаменты –

3,3 %; железобетонные конструкции – 17,8 %; деревянные конструкции – 1,6 %; стальные конструкции – 6 %; кирпичные и блочные конструкции – 18,8 %; теплофизика и акустика зданий – 9 %.

В зарубежных источниках приводятся различные данные о причинах возникновения дефектов (недостатков, повреждений) и их распределении по этапам. Согласно проведенным исследованиям основной причиной возникновения дефектов в строительстве в 50 % случаев считаются недостатки проектирования. К другим причинам относятся нарушение технологии строительства (17,5 %), низкое качество материалов и конструкций (14,5 %), недостаточная нормативная документация (4 %), прочие причины и их сочетание (14 %) и т. д. По данным исследования В. А. Иванова, дефекты проектирования составляют 25 %, дефекты изготовления и монтажа – 48 %, низкое качество материалов – 6 %, недостатки проектных норм – 4 %, неправильная эксплуатация – 16 %, прочие – 1 %. В цифрах дефектов и ущерба (отказов), приведенных Л. Б. Альберти, на первом месте стоят незнание, злой умысел и халатность – 35 %, на втором – недооценка знаний – 25 %.

В табл. 1.6 приведено распределение отказов по стадиям (данные разных авторов).

Таблица 1.6. Распределение отказов по различным стадиям, %

Автор	П	С	Э	Д	У
Matousek	37	35	5	25	100
BrandGlatz	40	40	–	20	100
Yamamoto Ang	36	43	21	–	100
Grunau	40	29	31	–	100
Reygaertz	49	22	29	–	100
Melchers, et al	55	24	21	–	100
Fraczek	55	53	–	–	108*
Allen	55	49	–	–	104*
Nadipriono	19	27	33	20	99
Среднее	43	36	16	7	102*

Примечание: проектирование (П), строительство (С), эксплуатация (Э), другие факторы (Д), общее количество (У)

\* – комбинированные причины >100 %.

Общие данные о причинах отказов, полученные от отечественных и зарубежных авторов, дали следующие результаты. Ошибки проектирования – от 20 до 55 %; нарушение технологии изготовления и монтажа – от 17,5 до 53 %; нарушение правил эксплуатации – от 5 до 33 %; низкое качество материалов – от 6 до 14,5 %; отсутствие нормативной документации – до 4 %; прочие причины – до 25 %. Такое расхождение можно объяснить различиями в подходах авторов к выявлению причин отказов, недостаточным статистическим материалом и неполной оценкой причин аварий. Как видно из приведенных данных, основные дефекты и повреждения, влияющие на безопасность зданий и сооружений и приводящие к авариям, возникают в процессе проектирования, строительства и эксплуатации.

### ***Ремонтопригодность на этапе проектирования и конструирования***

К основным неточностям проектирования (которые могут привести к авариям и поэтому нуждаются в перепроверке) относятся следующие:

– ошибки расчета – неправильный подбор сечений, расчет составной арматуры или узловых соединений, неучет дополнительных напряжений в элементе (например, при смещении узлов от центра);

– ошибки проектирования – реализация необоснованных строительных планов (например, уменьшение конструктивной высоты несущих конструкций), неспособность предотвратить гниение, недостаточная пространственная жесткость, различные отклонения от расчетов при строительстве, неуказание в чертежах качества материалов и т. д.

### ***Ремонтопригодность на этапе изготовления***

Долговечность и надежность строительных конструкций, зданий и сооружений во многом зависит от качества строительных материалов. Производство строительных материалов требует строгого соблюдения стандартов, технологий и контроля качества продукции. При надлежащем контроле качества продукции допускаются нарушение состава, отклонение размеров и т. д.

Основными дефектами деревянных конструкций являются пороки древесины, несоответствие применяемых клеев нормам и проекту. Дефекты выявляются путем визуального осмотра, инструментального контроля и лабораторных испытаний. В основном дефекты носят критический характер (табл. 1.7).

Таблица 1.7. Дефекты производства деревянных конструкций

Отступление от проектных решений и нарушение требований нормативных документов, квалифицируемые как дефекты	Классификация дефектов по ГОСТ 15467	Методы определения дефектов
Порода используемой древесины и категория защитной обработки (антисептирование, огнезащита, влажность и др.) не соответствуют требованиям проекта и стандарта	Критический	Данные лабораторных исследований. Осмотр
Вид клея в клееных деревянных несущих конструкциях (балки, фермы, рамы, опоры линий связи и др.) не соответствует требованиям проекта и стандарта на изделия	>>	Паспортные данные клея в сопоставлении с проектом
Прочность клеевых соединений и стойкость их к расслаиванию при температурно-влажностных воздействиях по результатам выборочного контроля не соответствует проектной и нормируемой	>>	Данные лабораторных испытаний. Контрольные испытания
Прочность и жесткость конструкций по результатам контрольных испытаний не соответствует требованиям проекта и стандарта	>>	Данные лабораторных испытаний. Контрольные испытания
Отклонения в расстояниях между центрами отверстий в соединениях на нагелях превышают допустимые	Значительный	Замер на месте
Пороки используемой древесины для изготовления конструкций превышают допустимые значения по результатам выборочной проверки	>>	Визуальный осмотр

Производство клееных конструкций тесно связано с обеспечением высокого качества. Улучшение качества, отражающее достижения научно-технического прогресса, способствует повышению эффективности производства и увеличению срока службы конструкций.

Контроль качества конструкций осуществляется на каждом этапе технического процесса. Готовая конструкция должна строго соответствовать требованиям ГОСТ или ТУ на каждый тип конструкции.

Стадийный контроль и инспекция готовой продукции включают в себя различные операции. При подготовке распиленных и выгруженных пиломатериалов анализируются их влажность, внутренние напряжения и чистота поверхности. Также выявляются и устраняются недопустимые дефекты, не подходящие под категорию строительного компонента. Механические свойства древесины, геометрические размеры пиломатериалов и пиловочника оцениваются на соответствие проектным требованиям, оценивается также геометрия резьбовых шпилек для их правильного подбора.

При подготовке клеевых соединений важно соблюдать ряд основных этапов. К ним относятся правильное смешивание компонентов клея, определение вязкости, биоразлагаемости и времени отверждения для их кондиционирования перед запрессовкой деталей.

В процессе склеивания необходимо учитывать температуру и влажность рабочего места, точный расход клея и качество его нанесения на поверхность заготовки. Важно также правильно выбрать метод прессования и обеспечить необходимое давление в процессе. Контроль осуществляется на этапах выбора способа нагрева и поддержания оптимальной температуры для склеивания, на этапе прессования, а также после прессования и перед обработкой готового клееного блока.

После изготовления конструктивных элементов из клееных блоков проводится контроль качества механической обработки, проверяется соответствие проектной геометрии и размеров, выявляются видимые дефекты и проверяется качество защитной обработки.

Завершающим этапом контроля качества является проверка несущей способности конструкции. При испытании группы конструкций,

прошедших внешний осмотр и измерения, на случайно отобранных образцах оно считается успешным, если отношение нагрузки разрушения  $P_{\text{раз}}$  к контрольной нагрузке  $P_{\text{контр}} = P_{\text{пр}} \cdot K$ , указанной в инструкции, одинаково для всех образцов

$$\frac{P_{\text{раз}}}{P_{\text{контр}}} \geq 1. \quad (1.15)$$

Это гарантирует долговечность, надежность и ремонтпригодность конструкции.

### ***Ремонтпригодность на этапе монтажа***

Конструкции, которые в процессе транспортировки или хранения стали дефектными или поврежденными (например, разошлись клеевые швы, появились трещины) и не могут быть отремонтированы на месте, не должны быть установлены до тех пор, пока проектирующая организация/разработчик не определит возможность их использования, необходимость дооснащения поврежденной конструкции или ее замены новой.

Сборные элементы деревянных конструкций должны поставляться на строительную площадку с завода-изготовителя вместе с наружной облицовочной конструкцией, кровельными материалами и необходимыми конструктивными соединениями (накладками, крепежными болтами, крепежом, подвесами, муфтами, крепежными элементами и т. д.).

При выполнении работ, связанных со складированием, транспортировкой, хранением и монтажом деревянных конструкций, необходимо учитывать следующие особенности:

– рекомендуется поэтапный метод строительства, при котором несущие конструкции, материалы наружных стен и кровельные материалы возводятся последовательно в течение короткого промежутка времени;

– минимизация погрузочно-разгрузочных работ и перемещения деревянных конструкций при погрузке, разгрузке и монтаже;

– максимальное уплотнение несущих деревянных конструкций, таких как полуфермы, полуарки, полностью собранные арки, секции и блоки, включая крыши и кровли, при монтаже в зданиях.

Для обеспечения требований к обслуживанию несущих деревянных конструкций при их монтаже необходимо соблюдать следующие требования:

– для сборки деревянных конструкций используются вертикальные позиции с зажимом и горизонтальные позиции без зажима;

– устройство накладок коньковых швов следует выполнять после плотного примыкания соединяемых поверхностей на определенном участке;

– возводить сборные конструкции можно только после затяжки всех металлических соединений и устранения всех дефектов, возникших при транспортировке или хранении;

– перед началом строительства деревянных конструкций, контактирующих с кирпичом, грунтом или бетоном, необходимо провести изоляционные работы, указанные в проекте;

– арки и рамы, закрепленные рабочими болтами или дюбелями, должны устанавливаться с фиксацией опорного узла на месте;

– монтаж деревянных ферм осуществляется с помощью строительных подъемников, изготавливаемых на месте в соответствии с проектом;

– трехшарнирные фермы, состоящие из линейно соединенных элементов с деревянными и металлическими опорами, предварительно должны быть собраны из отдельных элементов на специальном верстаке или платформе;

– в случае арок, помимо учета конструктивных параметров, важно также проанализировать монтажные усилия, возникающие из-за собственного веса как при вертикальном подъеме арки, так и при ее перемещении в проектное положение для установки;

– необходимо также контролировать монтажную нагрузку ферм, учитывая, что усилия на элементах могут изменяться на противоположные величины. Использование более крупных элементов и простых

монтажных соединений, а также увеличение жесткости монтажных элементов позволяет снизить монтажную нагрузку;

– при возведении стен из бруса или бревен следует предусмотреть запас в 3 – 5 % от высоты стены, так как необходимо учитывать усадку материала.

Разработка методик оценки ремонтпригодности деревянных конструкций на этапах проектирования, строительства, изготовления и монтажа, а также проведение ремонтных работ являются важными аспектами строительства и эксплуатации деревянных конструкций. Систематизированные данные по усилению и восстановлению существующих узловых соединений и деревянных конструкций в целом будут представлены в гл. 3 и 4.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы основные критерии классификации деревянных конструкций?
2. Какие виды соединений деревянных конструкций вы знаете?
3. Какие существуют заводские стыки в конструкциях на основе древесины?
4. Для чего используются клеенные металлические стержни?
5. Что относится к качественным показателям ремонтпригодности деревянных конструкций?
6. Какие существуют коэффициенты, влияющие на количественные значения ремонтпригодности деревянных конструкций?
7. Какие методы расчета остаточного ресурса деревянных конструкций вы можете назвать?
8. Каковы примерные сроки службы деревянных конструкций?
9. Как рассчитывается гамма-процентный ресурс деревянного элемента?
10. Как выполняется оценка остаточного ресурса деревянных конструкций по критерию предельного физического износа?

## Глава 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 2.1. Надежность деревянных строительных конструкций

Национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 2394 «Конструкции строительные. Основные принципы надёжности» дано следующее определение надежности – это способность сооружения или элемента конструкции соответствовать установленным требованиям в течение проектного срока службы. На протяжении всего срока службы здания или конструктивного элемента должна быть обеспечена конструктивная целостность (живучесть) сооружения – способность сооружения в случае возникновения таких событий, как пожар, взрывы, удар, или вследствие человеческих ошибок избежать повреждений, не пропорциональных первоначальной причине.

Сооружения и их конструктивные элементы должны проектироваться, строиться и обслуживаться таким образом, чтобы быть пригодными для использования в течение расчетного срока службы, в том числе и экономически. В частности, при соответствующей степени надежности конструкции их конструктивные элементы должны удовлетворять следующим требованиям:

- они должны адекватно функционировать при любых ожидаемых воздействиях (требование предельного состояния по эксплуатационной пригодности);

- они должны выдерживать экстремальные и/или часто повторяющиеся воздействия, возникающие при возведении и эксплуатации (требование предельного состояния по несущей способности);

- они не должны разрушаться вследствие оползней, пожаров, взрывов, ударов и событий, подобных наводнению, или из-за последствий персональных ошибок до степени, непропорциональной первоначальной причине (требование конструктивной целостности).

Соответствующая степень надежности должна быть установлена с надлежащим учетом возможных последствий отказа и уровня затрат, усилий и сложности процедур, необходимых для понижения риска отказа.

Меры, принимаемые для достижения соответствующей степени надежности, включают в себя:

- выбор конструктивной системы, надлежащее проектирование и расчет;
- соблюдение стратегии качества;
- проектирование с учетом долговечности и технического обслуживания;
- меры защиты.

При проектировании и эксплуатации строительных объектов надежность – наиболее важный аспект достижения качества, подлежащий рассмотрению. Стандарты строительного проектирования должны обеспечивать основу для достижения надежности конструкций и сооружений следующим образом:

- выполнением требований надежности;
- установлением правил проверки выполнения требований надежности;
- установлением правил строительного проектирования и сопутствующих условий.

Долговечность служит необходимым условием для выполнения требований надежности. Долговечность сооружений и элементов конструкций должна быть такой, чтобы они оставались пригодными к эксплуатации в течение всего расчетного срока службы при соответствующем техническом обслуживании. Это также относится к усталости конструкций. Примеры расчетного срока службы сооружений приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Ориентировочная классификация расчетного срока службы

Класс	Ориентировочный расчетный срок службы, г.	Пример
1-й	От 1 до 5	Временные сооружения
2-й	25	Заменяемые части сооружений, например, пролетные балки, опорные элементы
3-й	50	Здания и другие рядовые сооружения, кроме перечисленных ниже
4-й	100 и более	Монументальные здания и другие специальные или ответственные сооружения. Большие мосты

Техническое обслуживание – это комплекс мероприятий, осуществляемых в течение срока службы сооружения, позволяющих удовлетворить требования по долговечности. Техническое обслуживание включает в себя выполнение регулярных обследований, специальных обследований (например, после землетрясений), модернизацию систем защиты и ремонт конструкций.

Долговечность должна быть обеспечена программой технического обслуживания или проектными решениями, которые предусматривают, что износ не приведет к обрушению конструкции в тех случаях, когда для сооружения невозможно или не предполагается проведение технического обслуживания и ремонта.

Конструкция должна быть спроектирована, построена или закреплена таким образом, чтобы в период между очередными обследованиями не возникло никаких повреждений. В проекте необходимо предусматривать, чтобы части сооружения были доступны для осмотра без сложного демонтажа.

Для обеспечения достаточной долговечности конструкции должны быть учтены следующие взаимосвязанные факторы:

- назначение конструкции;
- требуемые функциональные критерии (например, внешний вид);
- ожидаемые внешние условия;
- состав, свойства и эксплуатационные характеристики материалов;
- конструктивная система;
- форма элементов и детальный конструктивный проект;
- качество строительства и уровень управления;
- специальные меры защиты;
- техническое обслуживание в течение расчетного срока службы.

Степень износа можно оценить на основе теоретических или экспериментальных исследований и опыта.

Условия, которые необходимо выполнить, относятся к выбору конструктивной системы, к качеству изготовления и режиму технического обслуживания, и обычно подробно описываются в стандартах проектирования конструкций. В технических условиях также следует учитывать изменчивость свойств материалов, контроль качества и критерии приемки материалов. Они также включают в себя рассмотрение использования информационных технологий в отношении процессов

проектирования и исполнения работ, включая цепочки поставки и испытания материалов.

Выражение «соответствующая степень надежности» означает, что при назначении уровня надежности следует учитывать:

- причину и форму отказа, имея в виду возможность внезапного разрушения конструкции и ее элементов; такая конструкция должна иметь более высокую степень надежности, чем конструкция, разрушению которой предшествует некий сигнал, позволяющий принять меры по ограничению последствий;

- возможные последствия отказа в терминах риска, срока службы, ущерба здоровью, потенциальных экономических потерь и уровня социальных неудобств;

- уровень затрат, усилий и трудоемкость процедур, необходимых для снижения риска отказа;

- социальные и экологические условия в определенных местах.

Требуемая надежность, связанная с безопасностью конструкции или эксплуатационной пригодностью, может быть достигнута за счет совместного выполнения следующих мероприятий, связанных с проектированием:

- выполнения требований эксплуатационной пригодности;

- выбора значений переменных воздействия;

- выбора степени надежности для проектных расчетов;

- анализа долговечности;

- анализа степени конструктивной целостности (живучести);

- количества и качества предварительных исследований грунта и возможных экологических последствий;

- точности используемых механических моделей;

- строгости правил проектирования и контроля.

Оценку действительной надежности существующего сооружения необходимо проводить в том случае, если предпринимается одно или более из следующих действий [11]:

- реконструкция эксплуатируемого сооружения, при которой к существующему несущему остову добавляются новые конструктивные элементы;

- проверка несущей способности всех конструктивных элементов здания на действие изменившихся нагрузок, связанная с новым

функциональным назначением сооружения, изменениями в режиме эксплуатации или продлением расчетного срока службы здания;

– ремонт эксплуатируемого сооружения, техническое состояние которого ухудшилось из-за воздействий окружающей среды или особых воздействий (например, от землетрясения).

В некоторых случаях оценки могут выполняться по требованию властей, страховых компаний, владельцев или если это предусмотрено планом технического обслуживания. При оценке существующего сооружения проектирование и расчет должны быть основаны на общих принципах, описанных в нормативных документах.

Оценку не требуется выполнять для тех частей существующего сооружения, которые не будут подвергаться конструктивным изменениям, реконструкции, ремонту, изменению назначения или если очевидно, что они не повреждены, или отсутствуют основания предполагать их недостаточную надежность.

Влияние окружающей среды может иметь механический, физический, химический или биологический характер и ухудшать свойства материала сооружения, что, в свою очередь, может снижать безопасность и эксплуатационную надежность.

Влияние окружающей среды во многих отношениях подобно расчетным воздействиям и может иметь аналогичную классификацию, в том числе и по длительности действия. Таким образом, влияние окружающей среды может классифицироваться как постоянное, временное (длительного и кратковременного действия) и особые воздействия.

Установленные максимально допускаемые вероятности отказа должны зависеть от последствий и природы отказов, экономических, социальных факторов, затрат и усилий, требуемых для исключения вероятности отказа. Их значения должны быть основаны на существующем опыте. Следовательно, установленная вероятность отказа должна зависеть от класса надежности.

Установленные вероятности отказа  $p_{fs}$ , которые важны для расчетов предельного состояния по несущей способности и предельного состояния по эксплуатационной пригодности, должны отражать тот факт, что критерии для таких предельных состояний не учитывают грубых ошибок. Эти вероятности прямо не связаны с наблюдаемой частотой отказов, которая вызывается, главным образом, грубыми ошибками.

Рассматривая зависящие от времени свойства конструкции, следует учитывать влияние результатов обследований и ремонта на вероятность отказа. Это может привести к согласованию установленных значений с результатами обследований. Установленные вероятности отказа всегда следует рассматривать относительно принятого метода расчета, вероятностных моделей и метода оценки уровня надежности.

Надежность строительных конструкций и оснований следует обеспечивать на стадии разработки общей концепции сооружения, при его проектировании, изготовлении его конструктивных элементов, строительстве и эксплуатации.

При особых воздействиях надежность строительных конструкций, в том числе их защиту от прогрессирующего обрушения, дополнительно следует обеспечивать за счет проведения одного или нескольких специальных мероприятий, включающих в себя:

- выбор конструктивных решений, которые при аварийном выходе из строя или локальном повреждении отдельных несущих элементов конструкций не приводят к прогрессирующему обрушению сооружения в целом (повышение степени статической неопределимости за счет включения в систему дополнительных связей, применение пространственных конструкций и т. п.);

- применение материалов с повышенными требованиями к их качеству, способствующих развитию в конструктивных элементах и их соединениях пластических деформаций;

- расчет несущих элементов на локальную нагрузку, установленную заданием на проектирование;

- предотвращение, предупреждение или снижение возможности реализации особых аварийных воздействий на несущие конструкции путем обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности сооружения;

- использование комплекса специальных организационных мероприятий, обеспечивающих ограничение и контроль доступа посторонних лиц к основным несущим конструкциям (въездной контроль, система наблюдения, технические средства досмотра и т. п.);

- разработку технических (объемно-планировочных, конструктивных, инженерных, организационных) мероприятий, обеспечивающих своевременную, беспрепятственную и безопасную эвакуацию людей при возникновении аварийных ситуаций;

– проведение технического мониторинга при возведении и после сдачи в эксплуатацию объекта, в том числе для опасных производственных объектов, выведенных из эксплуатации.

Выбор методов защиты несущих конструкций от прогрессирующего обрушения при особых проектных и аварийных воздействиях следует осуществлять для всех рассматриваемых расчетных ситуаций в зависимости от назначения и конструктивной схемы строительного объекта.

При расчете конструкций должны быть рассмотрены следующие расчетные ситуации:

– установившаяся – ситуация, имеющая продолжительность, близкую к расчетному сроку службы строительного объекта (например, эксплуатация между двумя капитальными ремонтами или изменениями технологического процесса);

– переходная – ситуация, имеющая небольшую по сравнению со сроком службы строительного объекта продолжительность (например, изготовление, транспортирование, монтаж, капитальный ремонт и реконструкция строительного объекта);

– аварийная – ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

Для каждой учитываемой расчетной ситуации надежность строительных конструкций должна быть обеспечена за счет:

– расчета сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов по всем учитываемым предельным состояниям;

– выбора и контроля исполнения оптимальных конструктивных решений, материалов, технологических процессов изготовления и монтажа строительных конструкций;

– создания условий, гарантирующих нормальную эксплуатацию строительных объектов;

– контроля технического состояния сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов;

– проведения организационных мероприятий, направленных на снижение возможности возникновения аварийных ситуаций и прогрессирующего обрушения сооружений.

Для обеспечения требуемой долговечности строительного объекта при его проектировании необходимо учитывать:

- условия эксплуатации по назначению;
- расчетное влияние окружающей среды;
- свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств.

При проектировании строительных объектов необходимо учитывать возможное влияние на них агрессивной среды и других негативных условий эксплуатации (попеременное замораживание и оттаивание, наличие противоледных реагентов, воздействие морской воды, выбросов промышленных производств и т. д.).

Возможные отклонения расчетной схемы конструктивных элементов и узлов строительного объекта от условий его реальной работы следует учитывать, используя коэффициенты условий работы.

Коэффициенты условий работы необходимо устанавливать:

- в нормативных документах, регламентирующих расчет конструкций и оснований;
- на основе экспериментальных и теоретических данных;
- на основе данных о реальной работе материалов, конструкций и оснований в условиях производства работ и эксплуатации объекта.

Классы и уровни ответственности сооружений следует учитывать:

- при оценке долговечности сооружений;
- разработке номенклатуры и объема проектных работ, а также проводимых инженерных изысканий и экспериментальных исследований;
- разработке конструктивных решений надземной и подземной частей сооружений;
- разработке программ научно-технического сопровождения, при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций;
- разработке правил приемки, испытаний, эксплуатации и технической диагностики строительных объектов;
- при реконструкции, капитальном ремонте или сносе сооружений.

Нормативные сопротивления древесины определяются с вероятностью 0,95 по величинам временных сопротивлений (пределов прочности) на основе результатов испытаний малых чистых образцов без пороков или испытаний сортных материалов на образцах натуральных размеров.

Расчетные сопротивления с учетом режимов нагружения принимаются с вероятностью не ниже 0,99 и определяются по формуле

$$R_d = \frac{R_n}{\gamma_m}, \quad (2.1)$$

где  $R_n$  – нормативное сопротивление сортной древесины. При нормировании следует учитывать масштабный фактор, влияние пороков и изменение прочности древесины при переходе от кратковременных стандартных испытаний к реальным режимам нагружения;  $\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу.

В необходимых случаях расчетные сопротивления древесины следует умножать на коэффициенты условий работы, учитывающие температурно-влажностный режим эксплуатации конструкций и воздействие особых сочетаний нагрузок, и на поправочные коэффициенты, учитывающие геометрические и качественные характеристики поперечного сечения элементов конструкции. Модули упругости и модули сдвига древесины, фанеры и древесных плит следует определять с учетом сорта материала, температурно-влажностных условий эксплуатации и длительности нагружения конструкций. Характеристики модуля упругости и модуля сдвига для расчета по первой группе предельных состояний принимаются с вероятностью не ниже 0,95, а для расчета по второй группе предельных состояний – по средним значениям.

Гарантией надежности конструкции является коэффициент безопасности, найденный как отношение разрушающей нагрузки  $P_\phi$ , полученной в результате испытания конструкции, к проектной несущей способности  $P_\pi$ .

$$\frac{P_\phi}{P_\pi} = K. \quad (2.2)$$

Коэффициент безопасности представляет собой показатель, характеризующий как уровень развития методов проектирования, так и культуру производства и эксплуатации конструкций. Этот показатель определяет эффективность использования ресурсов материала и, следовательно, экономичность конструкции.

Природу и состав коэффициента безопасности конструкций изучают на основании метода расчета строительных конструкций по предельным состояниям. Это изучение состоит из теоретических и экспериментальных исследований и натуральных наблюдений за конструкциями.

Коэффициент безопасности находится как произведение дифференциальных значений отдельных коэффициентов по формуле

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3. \quad (2.3)$$

Коэффициент  $K_1$  характеризует длительную прочность древесины. Для несущих конструкций среднее значение коэффициента  $K_1 = 1,88 \cdot 0,8$  (здесь 0,8 – поправка к значению  $R_{п}$ , найденному при кратковременном испытании).

Коэффициент  $K_2$  характеризует качество изготовления конструкций в зависимости от следующих основных факторов:

- применения для изготовления конструкций лесоматериалов, не соответствующих по качеству требованиям строительных, технических норм и указаниям проекта;
- неудовлетворительного качества распиловки лесоматериалов, нарушения допусков по толщине и ширине досок, несоблюдения чистоты подготовки поверхности и т. д.;
- отклонения технологических операций при изготовлении от технических регламентов и др.

Учитывающий эти факторы коэффициент  $K_2$  находится статистическими методами оценки изменчивости качества конструкций по данным испытаний на заводе. По результатам исследований на современных заводах клееных конструкций  $K_2 = 1,42$ .

Коэффициент  $K_3 \approx 1,3$  учитывает несовершенство методов расчета конструкций: условность расчетной схемы, вероятностный характер расчетных механических показателей материалов и внешних нагрузок, концентрацию напряжений, дополнительные напряжения и т. д.

Факторы, определяемые коэффициентами  $K_1$  и  $K_3$ , имеют объективный характер. Это реологические свойства древесины, проявляющиеся при длительном действии внутренних напряжений в материале, неоднородность структуры и анизотропия механических свойств материала, случайные факторы эксплуатации. Поэтому бороться с этими факторами сложно и в теории расчета по предельным состояниям они учитываются системой коэффициентов: коэффициентами условий работ, коэффициентами перегрузок, значение которых оправдано.

Однако не следует путать указанные объективные факторы с субъективными – ошибками проектирования, которых можно избежать, соблюдая правила, изложенные в учебной и нормативной литературе.

В бóльшей мере поддается корректировке коэффициент  $K_2$ . Почти все факторы, объясняющие его появление, или вообще устранимы, или в значительной мере исправимы. По мере улучшения производственного процесса стабильность качества изготовления конструкций будет повышаться, что приведет к уменьшению значения  $K_2$ . Этому способствуют культура производства, строгое соблюдение технологии и тщательный пооперационный контроль качества изготовления конструкций. Возможный непрочлей клеевых соединений в зоне концентрации скалывающих напряжений учитывается понижающим коэффициентом 0,6, на который умножается расчетная площадь клеевого шва, что значительно увеличивает размеры поперечного сечения элементов, существенно снижая экономическую эффективность клееных конструкций.

Одновременно с повышением качества изготовления необходимо повысить культуру эксплуатации деревянных конструкций, чтобы как можно больше уменьшить коэффициент  $K_1$ . Расчеты конструкций должны, как правило, обеспечивать выполнение условия равнопрочности (равноустойчивости) конструкции в целом и в ее отдельных элементах. Расчет конструкций и их элементов на усилия от действия внешних нагрузок необходимо выполнять, как правило, с использованием геометрических гипотез: плоских сечений и прямых нормалей. Расчет конструкций и их элементов при сложном напряженном состоянии следует выполнять на основе критериев и зависимостей, подтвержденных экспериментальными данными.

Таким образом, система проектирования, строительства и ремонта всех конструкций, инженерного оборудования основана на принципе обеспечения безотказности. При эксплуатации зданий и конструктивных элементов применяются плановые профилактические ремонтно-восстановительные работы с заданным уровнем надежности и выполнением неплановых аварийно-диспетчерских работ в межремонтный период.

Обеспечение нормируемого уровня надежности конструкций позволяет предотвратить непредвиденный (неплановый) ремонт, который заключается в срочном устранении результатов повреждений (неисправностей) элементов здания, которые могут вызвать аварийный отказ и значительно ухудшить условия эксплуатации здания.

## **2.2. Рекомендации по технической эксплуатации зданий, возведенных с применением деревянных конструкций**

Каждое здание и сооружение имеет определенное назначение, которое учитывается при проектировании и строительстве: выбор конструктивной схемы здания, его этажности, объемно-планировочных решений, применение тех или иных строительных материалов.

Между возведением здания и процессом его использования существует прямая связь. Эксплуатационная пригодность здания, безотказность и долговечность его конструктивного решения и инженерных систем определяются уже на стадии проектирования и строительства с учетом методов эксплуатации, возможности доступа к отдельным элементам инженерных систем и конструкций для их наладки, ремонта, замены и т. д. [10].

Здания могут быть использованы для производственно-технологических и административных целей, для проживания граждан или культурно-просветительных мероприятий.

В зависимости от назначения здания подразделяются:

- на гражданские, к которым относятся жилые, общественные, обслуживающие бытовые и общественно-культурные потребности населения;
- промышленные, обслуживающие нужды производства и транспорта;
- сельскохозяйственные, обслуживающие потребности сельского хозяйства.

В результате научно-технического прогресса, изменения окружающей среды под воздействием человека, повышения жизненного уровня населения технология производственных процессов и методы использования жилых и административных зданий постоянно меняются. Следовательно, в период эксплуатации вырабатываются новые требования к проектированию, строительству объектов и инженерных систем.

Эксплуатация зданий предусматривает «потребление построенных объектов», т. е. использование их помещений, систем, прилегающих территорий для определенных целей.

Таким образом, задачи эксплуатации зданий можно определить как комплекс мероприятий, обеспечивающих комфортное и безотказное

использование помещений здания, элементов и систем для определения целей в течение нормативного срока.

В свою очередь, весь этот комплекс делится на два больших раздела:

- обслуживание;
- техническая эксплуатация.

Под сроком службы здания понимают продолжительность его безотказного действия. Как правило, продолжительность безотказной работы элементов здания, его систем и приборов неодинакова. При определении нормативных сроков службы здания принимают средний безотказный срок службы основных несущих элементов: фундаментов и стен. При этом сроки службы отдельных элементов здания могут быть в 2 – 3 раза меньше нормативного срока службы здания. Для безотказного и комфортного пользования зданием в течение всего срока его эксплуатации эти элементы приходится полностью заменять.

За весь срок службы элементы здания и его инженерные системы неоднократно налаживают, восстанавливают износившиеся элементы, которые не могут эксплуатироваться до полного износа без ремонтно-наладочных работ. В период эксплуатации необходимо производить такие работы для компенсации физического и морального износа. Нормативный срок службы большинства конструкций определен с учетом ремонтно-наладочных работ. Если их не выполнять, то конструкция выйдет из строя преждевременно. Невыполнение незначительных по объему работ иногда может явиться причиной выхода из строя полностью всего элемента.

Периодичность ремонтных работ зависит от долговечности материалов, из которых изготовлена конструкция или инженерная система, интенсивности нагрузки или окружающей среды, а также от технологических и других факторов. Проведение перечисленных работ в установленные сроки является задачей технической эксплуатации зданий.

Таким образом, содержание технической эксплуатации деревянных конструкций составляет комплекс мероприятий, обеспечивающих безотказную работу всех деревянных элементов в течение не менее нормативного срока их службы.

В комплекс мероприятий по технической эксплуатации деревянных конструкций входят:

- текущий планово-предупредительный ремонт и наладка оборудования;
- непредвиденный текущий ремонт;
- капитальный планово-предупредительный ремонт;
- выборочный капитальный ремонт.

Для организации планирования и финансирования ремонтов важно знать их принципиальное различие, заключающееся не только в объемах и характере работ, но и в целях.

Текущий ремонт предупреждает преждевременный износ деревянной конструкции. Из этого следует, что он не изменяет физического состояния материала деревянной конструкции. К текущему ремонту относятся небольшие по объему работы по замене конструкций, а также по наладке инженерных приборов. Текущий ремонт должен проводиться в планово-предупредительном порядке в сроки, предупреждающие нарушение нормальной работы элементов конструкции.

Важное значение в обеспечении нормативных сроков службы здания имеет проведение планово-предупредительного ремонта, задачей которого является устранение морального и физического износа конструкций и инженерных систем здания. Надежность здания чаще всего обеспечивается при выполнении всего комплекса работ по технической эксплуатации.

Каждое здание должно удовлетворять эксплуатационным, техническим, экономическим и архитектурно-художественным требованиям.

Функциональное здание должно быть целесообразным, отвечать своему назначению, соответствовать заданным санитарно-гигиеническим, экономическим и другим условиям эксплуатации в течение нормативного срока службы. Для обеспечения таких условий на стадии проектирования выбирают соответствующее число помещений требуемых размеров, оборудования, путей эвакуации и транспорта, энергоснабжения и др. Для определения эксплуатационных свойств требуются следующие данные: природно-климатические условия, соответствующая ориентация зданий, расчет инженерных и санитарно-технических путей, температурно-влажностный режим и др. В некоторых зданиях необходимо учитывать динамические воздействия оборудования на строительные конструкции, поддерживать стабильные параметры температурно-влажностного режима и т. д.

В техническом отношении здание и его элементы должны отвечать требованиям прочности, устойчивости, надежности и огнестойкости его конструкций.

Долговечность здания обеспечивают применением для несущих конструкций морозо-, влаго- и коррозионно-устойчивых материалов. Противопожарные требования, предъявляемые к деревянным конструкциям зданий, устанавливают степень огнестойкости самого здания, которая определяется группой возгораемости и пределом огнестойкости его основных конструкций в зависимости от функционального назначения здания, пожарной опасности производства.

Экономичность здания характеризуется объемом капитальных затрат на строительство и суммой эксплуатационных затрат за нормативный срок службы.

В соответствии с архитектурно-художественными требованиями здание должно обладать архитектурной выразительностью, определяемой его назначением и отражающей национальные архитектурные формы и традиции.

Эксплуатационные требования для деревянных конструкций подразделяются на общие и специальные.

Общие требования предъявляются ко всем деревянным конструкциям, примененным в здании, а специальные – к деревянным конструкциям определенных групп зданий, отличающихся спецификой назначения или технологией производства.

При выработке индивидуальных эксплуатационных требований к деревянным конструкциям определенного назначения исходят из соответствия принятых проектных решений по объемно-планировочным и конструктивным схемам здания и технологическим процессам, для которых проектируется здание.

Приемка законченного здания происходит в два этапа:

- рабочими комиссиями заказчика – от генерального подрядчика;
- государственными приемочными комиссиями – от заказчика.

Требования, предъявляемые при эксплуатации деревянных конструкций зданий:

1. Поддержание нормативной температуры в жилых помещениях 18 – 22 °С; в угловых помещениях – 22 – 24 °С (ГОСТ 30494 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»).

2. Создание нормативной освещенности жилых помещений (СП 52.13330 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*»).

3. Создание нормативного воздухообмена на  $1\text{ м}^2$ : в жилых комнатах  $3\text{ м}^3/\text{ч}$ ; в кухнях с электроплитой  $60\text{ м}^3/\text{ч}$ , с газовой плитой –  $60 - 90\text{ м}^3/\text{ч}$ ; в ванных –  $25\text{ м}^3/\text{ч}$ ; в туалете  $50\text{ м}^3/\text{ч}$  (СП 60.13330 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003»).

4. Влажность воздуха не менее 20 %, не более 65 % (оптимальное значение 60 %) (СП 60.13330).

5. Влажность материалов конструкций не более 10 %.

6. Звукоизоляция ограждающих конструкций 30 – 40 дБ (СП 51.13330 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003»).

7. Прочность конструктивных элементов.

8. Теплоизоляция ограждающих конструкций.

9. Герметичность стыковых соединений.

10. Гидроизоляция кровельных покрытий и междуэтажных перекрытий.

Указанные параметры не дают полной характеристики эксплуатационных свойств здания и могут быть дополнены инструментальными обследованиями точности монтажа конструкций.

Система обеспечения сохранности зданий определена «Правилами и нормами технической эксплуатации зданий и сооружений», а также ведомственными нормативными актами, предусматривающими выполнение комплекса взаимосвязанных мероприятий, осуществляемых преимущественно в плановом порядке. Система основана на принципе обеспечения безотказности всех конструкций, инженерного оборудования, помещений плановыми профилактическими ремонтно-восстановительными работами с заданным уровнем надежности и выполнением неплановых аварийно-диспетчерских работ в межремонтный период.

Эксплуатационные службы независимо от вида обслуживания (хозяйственным или подрядным способом) обязаны осуществлять:

- техническое обслуживание деревянных конструкций зданий;
- текущий ремонт деревянных конструкций зданий;
- капитальный ремонт деревянных конструкций зданий;

– непредвиденный капитальный ремонт деревянных конструкций зданий.

Техническое обслуживание (ТО) зданий – комплекс ежегодно проводимых с установленной периодичностью профилактических мероприятий, обеспечивающих безотказное функционирование зданий. К мероприятиям ТО относятся работы по обеспечению нормативных режимов и параметров, регулированию и наладке инженерного оборудования и систем здания, контролю и учету технического состояния элементов здания и благоустройства прилегающей территории, выявлению проявившихся в них неисправностей, устранению в процессе контроля мелких неисправностей.

Текущий ремонт (ТР) – комплекс работ по поддержанию установленных эксплуатационных показателей здания (конструкций, элементов и т. п.). К текущему ремонту относятся плановые профилактические ремонты, мероприятия по подготовке к сезонной эксплуатации, аварийно-диспетчерское обслуживание.

Капитальный ремонт (КР) – комплекс работ по замене или восстановлению изношенных элементов, улучшению эксплуатационных качеств здания. Мероприятия КР должны обеспечивать безотказное функционирование здания в следующий межремонтный период при выполнении ТО и ТР. Плановый КР всегда должен носить комплексный и профилактический характер.

Непредвиденный (неплановый) КР заключается в срочном устранении результатов повреждений (неисправностей) элементов здания, которые могут вызвать аварии, значительно ухудшить условия хранения загрузочного материала либо привести к его повреждению.

Санитарное содержание – комплекс мероприятий, обеспечивающих необходимые санитарно-гигиенические и противопожарные требования к содержанию помещений зданий и прилегающей территории, включающих уборку помещений и территории, очистку снега с крыши здания, вывозку мусора и снега, заполнение водой противопожарных емкостей и бассейнов, уход за зелеными насаждениями, дезинфекцию, дератизацию помещений складов, антисептирование и антипирирование несущих и ограждающих конструкций из древесины и другие работы.

Эти виды работ могут выполняться как комплексными, так и специализированными организациями.

### ***Пример эксплуатации и обследования деревянных конструкций складского здания с применением в покрытии брусчатых ферм пролетом 21,0 м***

К деревянным конструкциям покрытия зданий относят брусчатые фермы покрытия, прогоны и настилы по ним, связи между фермами.

В процессе длительной эксплуатации могут образовываться следующие наиболее часто встречающиеся дефекты деревянных конструкций покрытия:

- недостаточная прочность элементов верхнего пояса ферм;
- недостаточная прочность элементов нижнего пояса ферм;
- ослабление нижнего пояса ферм на  $2/3$  толщины сучками;
- разрыв нижнего пояса ферм;
- замачивание и загнивание элементов ферм, связей, прогонов, настилов;
- выходы стропильных и связевых ферм из плоскости;
- ненадежные крепления в узлах стропильных ферм;
- провисание, зыбкость, неплотность гвоздевых креплений связевых ферм;
- занижение сечения и разрушение элементов связей;
- возникновение усушечных трещин в элементах стропильных и связевых ферм;
- нарушение крепления связей к стропильным фермам;
- провисание, выгибы вдоль ската, неплотное соединение досок дощатых прогонов;
- заниженное сечение дощатых прогонов и настилов;
- провисание, неплотности дощатых настилов покрытия.

Анализ работы деревянных конструкций определяется на основе поверочных расчетов на прочность и деформативность. Наиболее важной конструкцией покрытия в плане эксплуатации является стропильная ферма.

Рассмотрим для примера поверочный расчет брусчатой фермы пролетом  $l = 21,0$  м по рис. 2.1. Шаг конструкции  $b = 6,0$  м. Район строительства – г. Волгоград. Расчетная схема показана на рис. 2.1. Все нагрузки приведены к сосредоточенным силам.

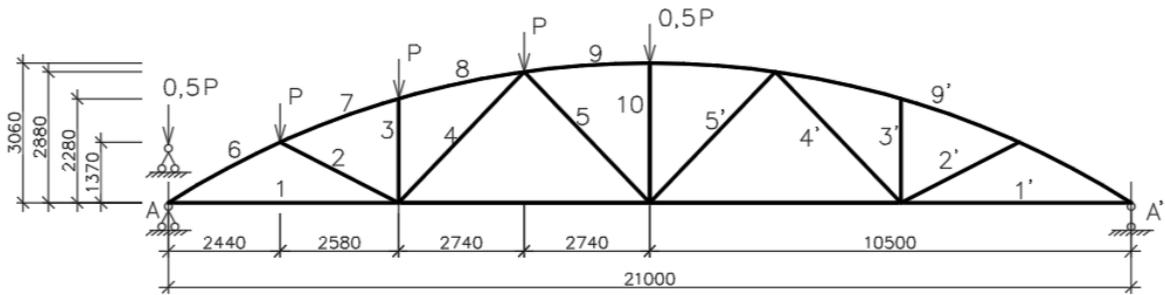


Рис. 2.1. Расчетная схема многоугольной брусчатой фермы

Сбор нагрузок на ферму приводится в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Сбор нагрузок на ферму

№ п/п	Вид нагрузки	$q_{\text{норм}},$ кг/м <sup>2</sup>	$\gamma_f$	$q_{\text{расч}},$ кг/м <sup>2</sup>
Постоянная				
1	4 слоя рубероида на битумной мастике (3 × 4)	12	1,3	16`
2	Косой дощатый настил толщиной 19 мм по формуле $0,019 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 600$	11,4	1,1	12,54
3	Рабочий дощатый настил толщиной 25 мм с небольшой разрядкой (0,025 × 1 × 1 × 600 × 0,8)	12	1,1	13,2
4	Прогоны высотой 150 мм из двух досок толщиной 60 мм по формуле $0,15 (0,06 \cdot 0,06) 6 \cdot 600/6 \cdot 1,5$	7,2	1,1	7,92
	Итого постоянная на прогон	42,6		49,66
5	Собственный вес фермы покрытия: $q_{\text{с.в.}} = \frac{q_c^H + Cq_{\text{с.н.}}^H}{1000 \cdot K_{\text{с.в.}} \cdot l - 1}$ , где $q_c^H$ – нормативная постоянная нагрузка ( $q_c^H = 42,6$ кг/см <sup>2</sup> ); $q_{\text{с.н.}}^H$ – нормативная снеговая нагрузка ( $q_{\text{с.н.}}^H = 100$ кг/см <sup>2</sup> ); $K_{\text{с.в.}}$ – коэффициент собственного веса конструкции ( $K_{\text{с.в.}} = 4$ для данного вида ферм); $c$ – коэффициент, определяемый по формуле $c = \frac{l}{8 \cdot f} = \frac{21}{8 \cdot 3,06} = 0,85$ , в которой $f$ – высота фермы ( $f = 3,06$ м), $l$ – пролет фермы (21,0 м). $q_{\text{с.в.}} = \frac{42,6 + 0,85 \cdot 100}{\frac{1000}{4 \cdot 21} - 1} = 11,71$ .	11,71	1,1	12,87
	Итого постоянная	54,31		$q_{\text{п}} = 62,55$
Временная				
1	Снеговая ( $100 \cdot c = 100 \cdot 0,85$ ) (100 кг/м <sup>2</sup> – нормативная снеговая нагрузка для II снегового района по СП 20.13330)	85	1,6	136,0
	Итого временная	85		$q_{\text{сн}} = 136,0$
	Всего	139,31		198,55

Сосредоточенная сила от постоянной нагрузки

$$G_{св} = \frac{q_{п} \cdot b \cdot l}{8} = \frac{62,55 \cdot 6 \cdot 21}{8} = 985,2 \text{ кг}, \quad (2.4)$$

где  $b$  – шаг ферм;  $l$  – пролет фермы.

Сосредоточенная сила от снеговой нагрузки

$$P_{сн} = \frac{q_{сн} \cdot b \cdot l}{8} = \frac{136,0 \cdot 6 \cdot 21}{8} = 2142 \text{ кг}. \quad (2.5)$$

Определяем продольные усилия в стержнях фермы. Для этого строим диаграмму усилий (Максвелла – Кремоны) от единичной нагрузки (рис. 2.2). Опорные реакции от единичной нагрузки с левой стороны фермы вычисляются как  $R'_A = \frac{1 \cdot (2,44 + 5,02 + 7,76) + 0,5 \cdot 10,5}{21} = 0,97$ ;  $R_A = 3,5 - R'_A = 3,5 - 0,97 = 2,53$ .

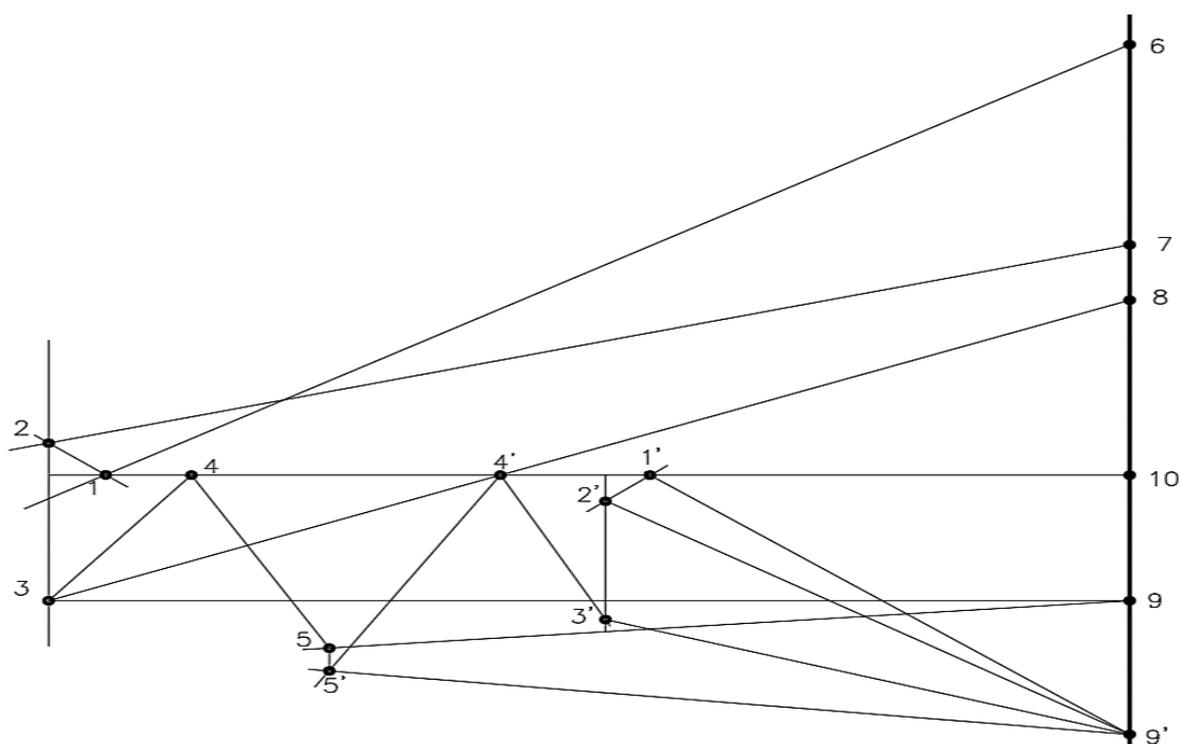


Рис. 2.2. Диаграмма усилий в элементах фермы от единичной нагрузки слева

Исходя из диаграммы Максвелла – Кремоны усилия в элементах фермы при одностороннем и полном загрузении, а также расчетные усилия сведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Усилия в элементах фермы

Элементы ферм и опорные реакции	Стержни	Усилия от единичной нагрузки, тс			Усилия от пост. нагрузки $q_{с.в} = 0,985$ т., тс	Усилия от временной нагрузки $P_{сн}$ , тс		Расч. усилия $N$ , т
		слева	справа	полной		слева	справа	
Верхний пояс	6 – 1	-5,05	-2,25	-7,30	-7,19	-10,8	-4,82	-22,83
	7 – 2	-4,65	-2,38	-7,03	-6,93	-9,96	-5,10	-21,99
	8 – 3	-4,48	-2,25	-6,73	-6,63	-9,60	-4,82	-21,05
	9 – 5	-3,43	-3,42	-6,85	-6,75	-7,34	-7,33	-21,42
Нижний пояс	10 – 1	4,30	2,05	6,35	6,26	9,21	4,33	19,80
	10 – 4	4,02	2,70	6,62	6,62	8,61	5,78	21,01
Раскосы	1 – 2	0,12	0,20	0,32	0,32	0,26	0,43	1,01
	3 – 4	0,55	-0,67	-0,12	-0,12	1,18	-1,45	-1,57
	4 – 5	-0,90	1,00	0,10	0,10	-1,93	2,14	-1,83
Стойки	2 – 3	-0,45	0,35	-0,10	-0,10	-0,96	0,75	-1,06
	5 – 5	-0,10	-0,10	-0,20	-0,20	-0,21	-0,21	-0,62
Опорные реакции	–	2,53	0,97	3,5	3,45	5,42	2,08	10,95
	–	0,97	2,53	3,5	3,45	2,08	5,42	10,95

Положительные значения в табл. 2.3 указывают на растягивающие усилия в элементе, знак «минус» – на сжимающие. Эпюра моментов приведена на рис. 2.3.

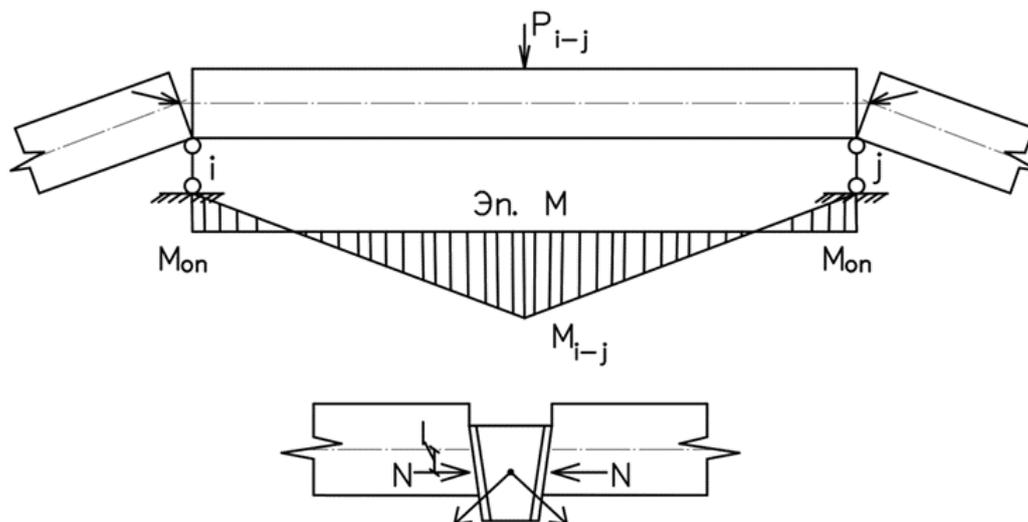


Рис. 2.3. К расчету верхнего пояса фермы

### Расчет верхнего пояса

В элементах верхнего пояса, кроме продольных усилий, действуют изгибающие моменты от внеузловой нагрузки, которую принимаем в виде сосредоточенной силы от веса прогона с покрытием, приложенной в середине панели (см. рис. 2.3).

Наибольшие изгибающие моменты от сосредоточенной внеузловой нагрузки по верхнему поясу возникают в панелях 8-3 и 9-5. В них составляющая нагрузка, перпендикулярная к оси элемента:

$$\begin{aligned} P_{8-3} &= (q_{\text{п}} + q_{\text{сн}} c) l_{\text{п}} b \frac{\cos \alpha_i}{2} = \\ &= (62,55 + 136) 2,74 \cdot 6 \frac{0,98}{2} = 1599,4 \text{ кг}; \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} P_{9-5} &= (q_{\text{п}} + q_{\text{сн}} c) l_{\text{п}} b \frac{\cos \alpha_i}{2} = \\ &= (62,55 + 136) 2,74 \cdot 6 \frac{0,99}{2} = 1615,8 \text{ кг}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Продольные усилия в элементах 8-3 и 9-5, а также в узлах верхнего пояса, прикладываем с эксцентриситетом вниз от оси элемента (см. рис. 2.3). Тогда в этих узлах на концах элементов верхнего пояса возникают отрицательные моменты  $M_{\text{оп}} = -N \cdot e$ , где  $N$  – расчетное усилие (см. табл. 2.3);  $e$  – эксцентриситет, который по обмерам конструкций составляет 2,5 см.

Отрицательные моменты уменьшают положительные в середине панели. Тогда изгибающие моменты в середине элементов верхнего пояса будут равны

$$\begin{aligned} M_{8-3} &= \frac{Pl_{\text{п}}}{4 \cdot \cos \alpha_i} - N \cdot e = \\ &= \frac{599 \cdot 2,74}{4 \cdot 0,98} - 21050 \cdot 0,025 = 591,42 \text{ кг} \cdot \text{м}; \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} M_{9-5} &= \frac{Pl_{\text{п}}}{4 \cdot \cos \alpha_i} - N \cdot e = \\ &= \frac{1616 \cdot 2,74}{4 \cdot 0,99} - 21420 \cdot 0,025 = 582,64 \text{ кг} \cdot \text{м}, \end{aligned} \quad (2.9)$$

где  $l_{\text{п}}$  – длина панели фермы;  $\alpha_i$  – угол наклона элемента.

По данным обмеров размеры сечения верхнего пояса составляют  $220 \times 180$  мм. При этом площадь сечения и момент сопротивления

$F = 396 \text{ см}^2, W = 1452 \text{ см}^3$ . Гибкость для элементов 8-3, 9-5 определяют по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{r} = \frac{274}{0,29 \cdot 22} = 42,9, \quad (2.10)$$

где  $l_0$  – расчетная длина элемента;  $r$  – радиус инерции сечения элемента с максимальными размерами брутто относительно осей  $x$  и  $y$ .

Коэффициент продольного изгиба

$$\varphi = 1 - a\left(\frac{\lambda}{100}\right)^2 = 1 - 0,8\left(\frac{42,9}{100}\right)^2 = 0,85, \quad (2.11)$$

где  $a$  – коэффициент, принимаемый для древесины 0,8.

Проверяем прочность элемента 8-3

$$R'_c = \frac{R_c}{\gamma_n} = \frac{130}{0,95} = 136,8 \text{ кгс/см}^2, \quad (2.12)$$

где  $R_c$  – расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон;  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по нагрузке.

Коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы:

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi \cdot R_c \cdot F} = 1 - \frac{21050}{0,85 \cdot 136,8 \cdot 396} = 0,54. \quad (2.13)$$

Изгибающий момент от действия продольных и поперечных нагрузок, определяемый из расчета по деформированной схеме:

$$M_d = \frac{M_{8-3}}{\xi} = \frac{591,42}{0,54} = 1095,22 \text{ кг} \cdot \text{м}. \quad (2.14)$$

Нормальное напряжение в элементе 8-3

$$\sigma_{8-3} = \frac{N}{F} + \frac{M_d}{W} = \frac{21050}{396} + \frac{109522}{1452} = 128,58 \leq 136,8 \text{ кг/см}^2. \quad (2.15)$$

Аналогично проверяем прочность элемента 9-5:  $R'_c = \frac{130}{0,95} = 136,8 \text{ кг/см}^2$ ;  $\xi = \frac{1-21420}{0,85 \cdot 136,8 \cdot 396} = 0,53$ ;  $M_d = \frac{582,64}{0,53} = 1099,32 \text{ кг} \cdot \text{м}$ ;  
 $\sigma_{8-3} = \frac{21420}{396} + \frac{109932}{1452} = 129,8 \leq 136,8 \text{ кг/см}^2$ .

Прочность элементов верхнего пояса достаточна.

### ***Расчет стоек и раскосов***

Сечения стоек и раскосов принимаем по данным обмеров одинаковыми –  $180 \times 130 \text{ мм}$ . Проверяем прочность с учетом наиболее

длинного и наиболее нагруженного раскоса 4-5. Для принятого раскоса расчетная длина элемента  $l = l_0 = 3,98$  м.

Гибкость элементов цельного сечения определяют по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{r} = \frac{3,98}{0,29 \cdot 0,13} = 105,6 < \lambda_{пр} = 150, \quad (2.16)$$

где  $\lambda_{пр} = 150$  – предельная гибкость элемента.

$$\varphi = \frac{A}{\lambda^2} = \frac{3000}{105,6^2} = 0,27, \quad (2.17)$$

где  $A$  – коэффициент, принимаемый для древесины 3000.

Площадь сечения стоек и раскосов  $F = 13 \cdot 18 = 234$  см<sup>2</sup>.

Прочность раскоса с учетом продольного изгиба

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot F} = \frac{1830}{0,27 \cdot 234} = 29 \text{ кг/см}^2 < 136,6 \text{ кг/см}^2. \quad (2.18)$$

Прочность раскоса достаточна. Так как стойки фермы меньше по длине раскоса 4-5 и менее нагружены, то их прочность также будет обеспечена.

### ***Расчет нижнего пояса***

Нижний пояс выполнен из бруса размерами сечения  $220 \times 180$  мм. По качеству брус нижнего пояса относится к первому сорту, тогда как верхнего – ко второму.

В узлах пояса поставлены деревянные накладки на болтах и штырях. Прочность нижнего пояса на растяжение проверяем по наибольшему усилию  $N = 21010$  кг по формуле

$$\frac{N}{F_{нт}} \leq \frac{R_p m_o}{\gamma_n}, \quad (2.19)$$

где  $N$  – расчетная продольная сила;  $F_{нт}$  – площадь поперечного сечения нетто;  $R_p$  – расчетное сопротивление древесины растяжению вдоль волокон.

Расчетное сопротивление определяется по формуле

$$R'_p = \frac{R_p m_o}{\gamma_n}, \quad (2.20)$$

где  $R_p$  – расчетное сопротивление растяжению, определяемое по п. 6.1 СП 64.13330;  $m_o$  – коэффициент условия работы для растянутых элементов с ослаблением в расчетном сечении ( $m_o = 0,8$ );  $\gamma_n$  – коэффициент

надежности по ответственности сооружения ( $\gamma_n = 1$  для класса сооружений КС-2 с нормальным уровнем ответственности). Тогда  $R'_p = \frac{0,8 \cdot 100}{1} = 80 \text{ кг/см}^2$ .

Площадь сечения с учетом ослабления болтами диаметром 22 мм  $F_{нт} = 22 \cdot 18 - 2 \cdot 2,2 \cdot 18 = 316,8 \text{ см}^2$ .

Напряжение в нижнем поясе

$$\sigma = \frac{R_y}{F_{нт}} = \frac{2100}{316,8} = 66,2 \text{ кг/см}^2 < 80 \text{ кг/см}^2. \quad (2.21)$$

Прочность обеспечивается.

Проверяем несущую способность болтовых и нагельных соединений  $T$  при толщине накладок в узлах нижнего пояса  $a = 100$  мм. Несущая способность нагеля (болта) на один срез определяется по формуле

$$T = 180 \cdot d^2 + 2 \cdot a^2 < 250 \cdot d^2, \quad (2.22)$$

где  $d$  – диаметр нагеля (болта);  $a$  – толщина накладки.

Для двухсрезного болта

$$T_6 = 2(180 \cdot 2,22^2 + 2 \cdot 10^2) = 2142 \text{ кг} < 2 \cdot 250 \cdot 2,2^2 = 2420 \text{ кг}.$$

Принимаем  $T_6 = 2142$  кг. Необходимое количество болтов

$$n = \frac{N}{T_6} = \frac{21010}{2142} = 10. \quad (2.23)$$

### ***Расчет опорного узла***

Опорный узел выполнен с металлическими натяжными хомутами и с лобовым упором верхнего пояса в деревянный вкладыш. Проверяем вкладыш на смятие под углом  $\alpha$  по формуле

$$\frac{N}{F_{см}} \leq \frac{R_{см\alpha}}{\gamma_n}, \quad (2.24)$$

где  $N$  – продольное усилие в элементе верхнего пояса;  $F_{см}$  – площадь смятия древесины вкладыша (по нижнему поясу);  $R_{см\alpha}$  – расчетное сопротивление древесины смятию под углом. При угле  $\alpha = 29^\circ 19'$

$$R_{см\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см90}} - 1\right) \sin^3 \alpha} = \frac{160}{1 + \left(\frac{160}{30} - 1\right) 0,49^3} = 106 \text{ кг/см}^2, \quad (2.25)$$

где  $R_{см90}$  – расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон.

Напряжение на смятие под углом  $\alpha = 29^{\circ}19'$

$$\sigma_{\text{сма}\alpha} = \frac{N}{F} = \frac{22830}{396} = 57,6 \text{ кг/см}^2 < \frac{106}{0,95} = 111,6 \text{ кг/см}^2.$$

Прочность вкладыша на смятие достаточна.

Горизонтальная сила в нижнем поясе  $N = 19800$  кг воспринимается стальным упором из двух уголков размерами  $100 \times 8$  мм с одной стороны и швеллером № 30 – с другой. Проверяем прочность уголков на изгиб при пролете  $l_r = 25$  см и нагрузке

$$q = \frac{N}{F} = \frac{19800}{18} = 1100 \text{ кг/см}^2.$$

Изгибающий момент

$$\begin{aligned} M &= \frac{q}{8}(l_r^2 - 4a^2) = \frac{1100}{8}(25^2 - 4 \cdot 3,5^2) = \\ &= 79200 \text{ кг} \cdot \text{см}. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Требуемый момент сопротивления

$$W = \frac{N_x \cdot \gamma_n}{n_x \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{79200 \cdot 0,95}{2 \cdot 2100 \cdot 1} = 17,91 \text{ см}^3, \quad (2.27)$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по нагрузке;  $n_x$  – количество поверхностей среза;  $R_y$  – расчетное сопротивление стали уголков;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы.

Для уголка размерами  $100 \times 8$  мм момент сопротивления

$$W = \frac{I_x}{b - z_o} = \frac{147}{10 - 2,75} = 20,27 \text{ см}^3, \quad (2.28)$$

где  $I_x$  – момент инерции относительно оси  $x$ ;  $b$  – ширина полки уголка;  $z_o$  – расстояние от наружной грани уголка до оси.

Момент сопротивления уголка выше требуемого момента сопротивления (2.27).

Тяжи рассчитываем на растяжение по формуле

$$\frac{N}{A} \leq \frac{R_y}{\gamma_n} \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}, \quad (2.29)$$

где  $\gamma_{c1}$  – коэффициент условия работы растянутых затяжек;  $\gamma_{c2}$  – коэффициент условия неравномерности работы затяжек.

При диаметре тяжа 27 мм ( $A = 5,73 \text{ см}^2$ )

$$\sigma = \frac{19800}{4 \cdot 5,73} = 864 \text{ кг/см}^2 < 2100 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 1606,5 \text{ кг/см}^2.$$

Опорная подушка изготовлена из древесины, пропитанной антисептиком. Ширина подушки 24 см. Проверяем подушку на смятие по формуле

$$\frac{N}{F_{\text{см}}} \leq R_{\text{см90}} \cdot m_{\text{п}}, \quad (2.30)$$

где  $N$  – сминающее усилие (опорная реакция);  $F_{\text{см}}$  – площадь смятия;  $R_{\text{см90}}$  – расчетное сопротивление древесины смятию поперек волокон;  $m_{\text{п}}$  – коэффициент условий работы для твердых пород древесины.

Сминающие напряжения

$$\sigma = \frac{10950}{18 \cdot 24} = 25,3 \text{ кг/см}^2 < 24 \cdot 1,6 = 38,4 \text{ кг/см}^2.$$

Прочность подушки на смятие достаточна.

Расчет других узлов производится аналогичным образом.

### ***Ремонт и усиление конструкций здания***

В зданиях с покрытиями по брусчатым фермам должны проводиться периодические ремонты, а при необходимости усиление несущих конструкций покрытия. Дефекты прогонов, настилов, связей покрытия, а также раскосов, стоек и верхних поясов стропильных ферм аналогичны тем, что в зданиях с металлодеревянными фермами. Большую опасность представляют дефекты нижнего пояса брусчатых ферм. При недостаточной прочности, ослаблении и разрыве нижнего пояса необходимо принимать меры временного, а затем и постоянного усиления. Если пояс не разрушен, а обследованием установлено ослабление или недостаточная его прочность, то необходимо усиливать конструкцию подведением подпорок под отдельные узлы или устанавливать дополнительные временные крепления в ослабленных участках. Затем следует усилить нижний пояс. Если пояс разрушен, то необходимо поставить подпорки под узлы верхнего пояса, затем вывесить покрытие над фермой и усилить нижний пояс. Нижний пояс можно усилить несколькими способами. Наиболее приемлемы два из них, рассмотрим их подробнее.

Первый способ – с помощью продольных тяжей (затяжек), устанавливаемых вдоль всего нижнего пояса (рис. 2.4). Для этого делают опорные хомуты с упорами, закрепляют их «в упор» на уголках опорных узлов и соединяют между собой тяжами (рис. 2.5 – 2.9).

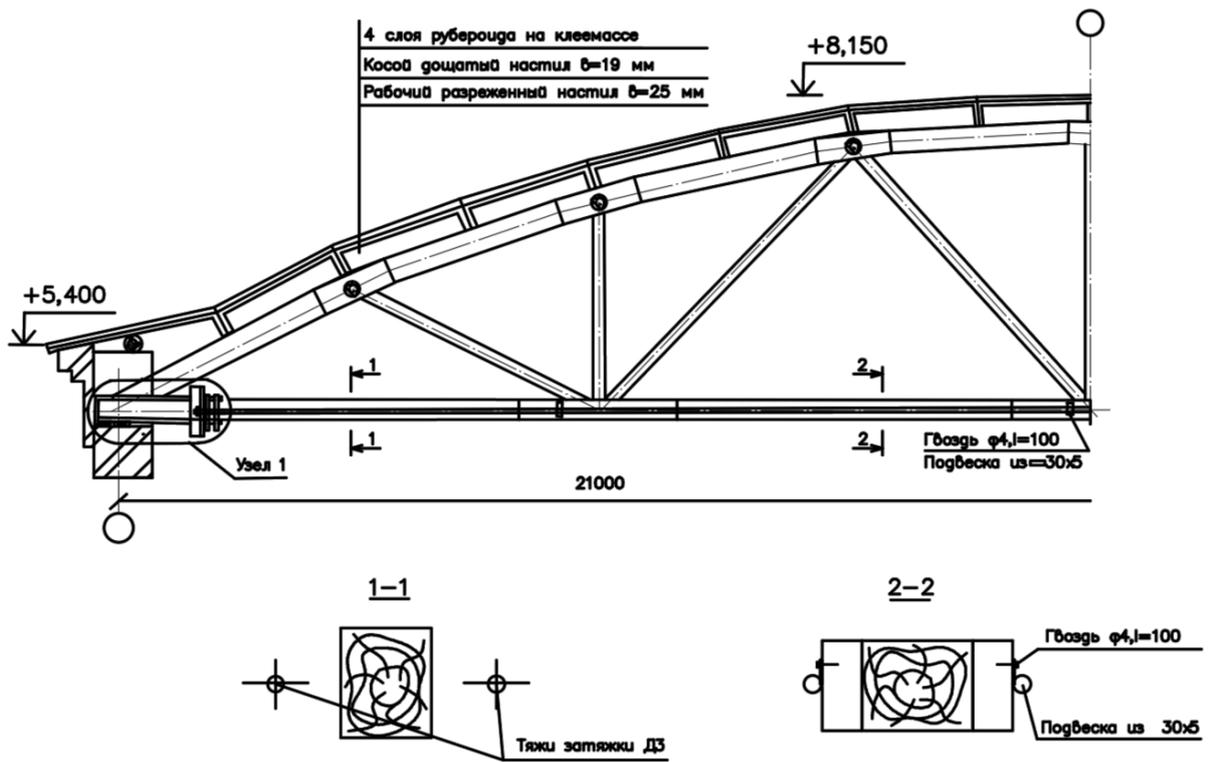


Рис. 2.4. Усиление нижнего пояса фермы с помощью опорных затяжек, расположенных вдоль нижнего пояса

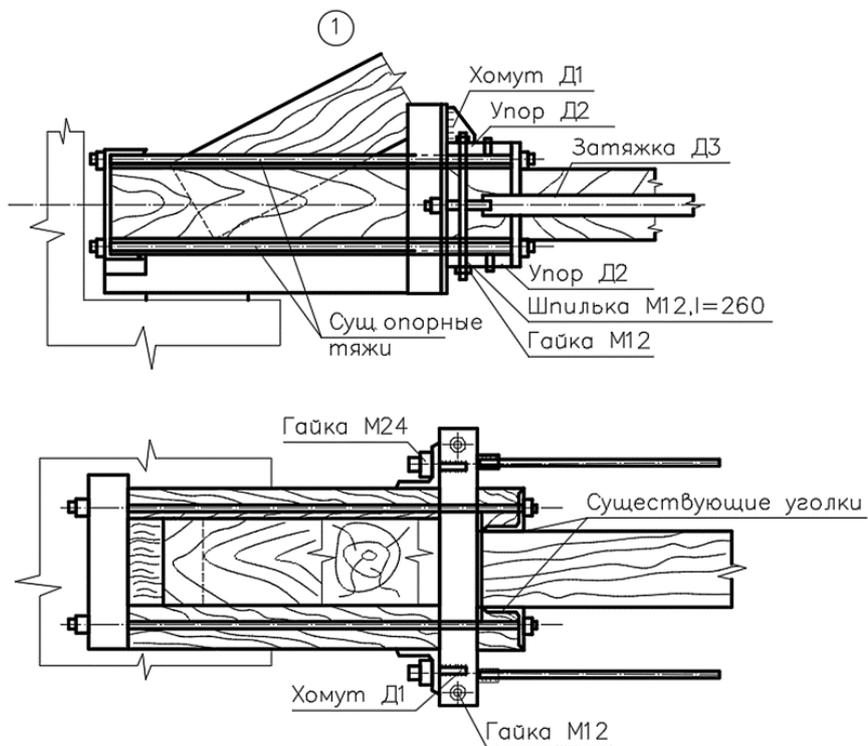


Рис. 2.5. Крепление затяжек в опорном узле

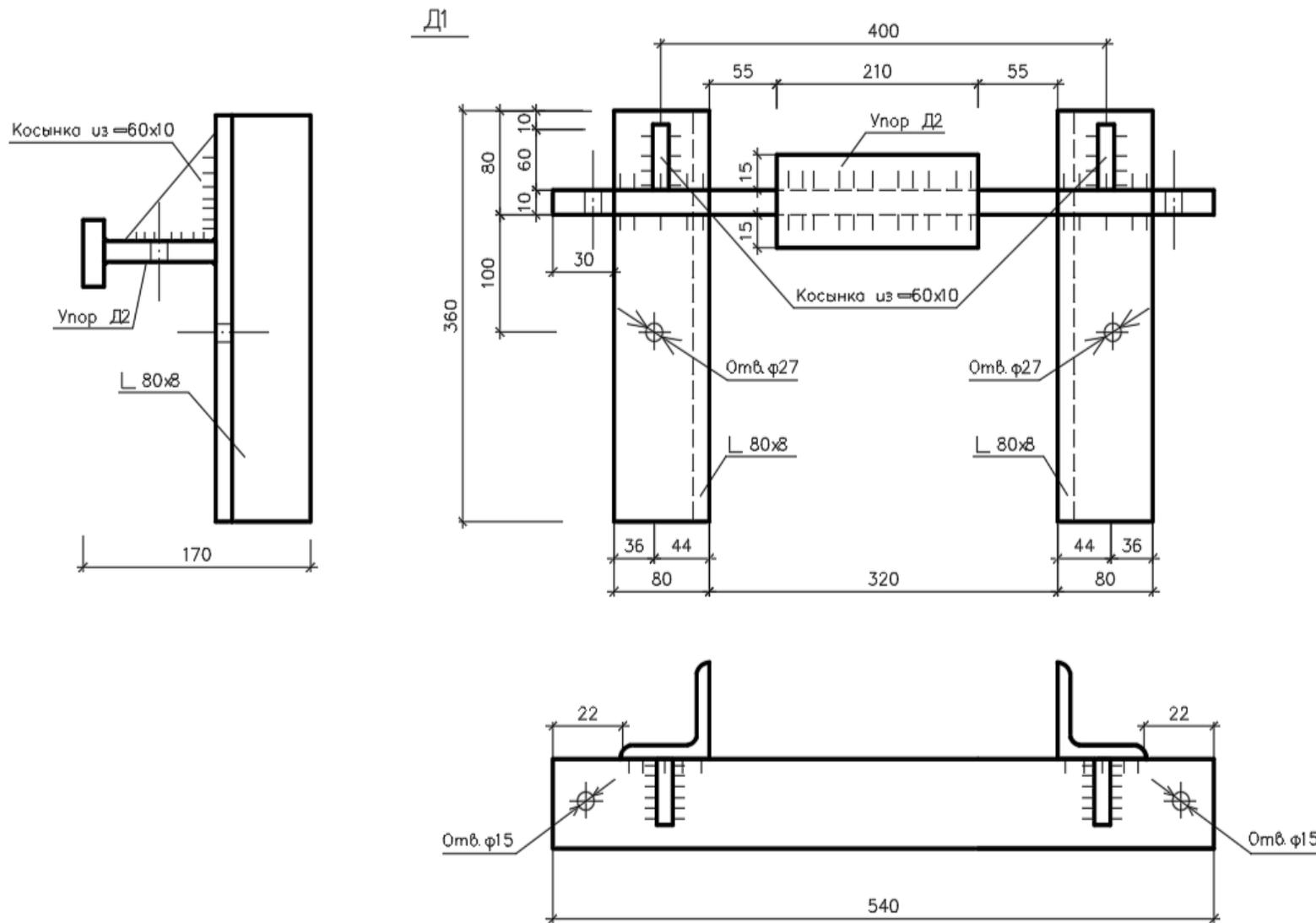


Рис. 2.6. Хомут для крепления затяжек в опорном узле

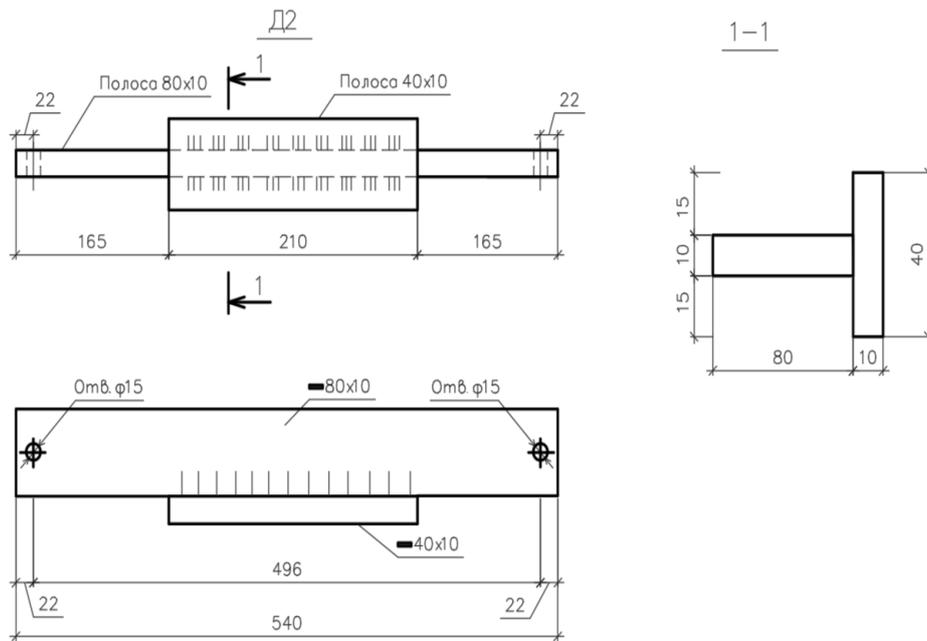


Рис. 2.7. Упор хомута для варианта усиления нижнего пояса затяжками

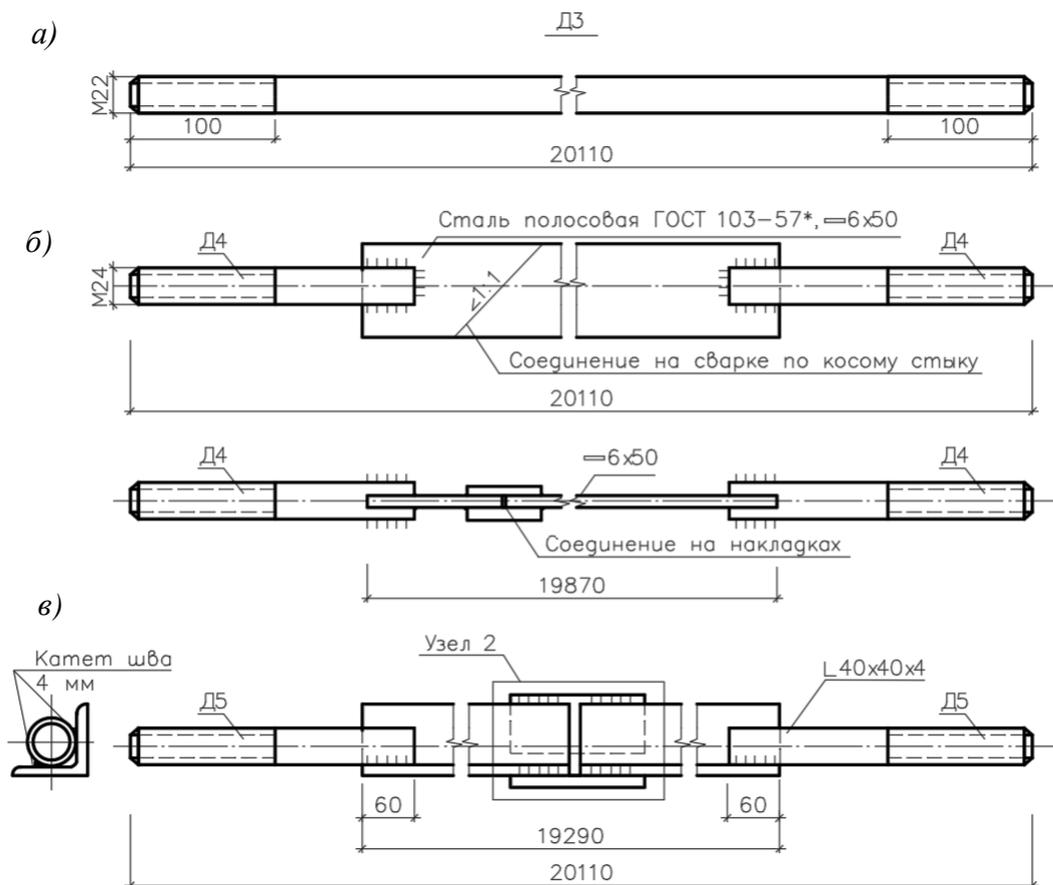


Рис. 2.8. Виды затяжек для первого варианта усиления нижнего пояса фермы: а – тяж круглого сечения; б – стальная полоса; в – металлический уголок

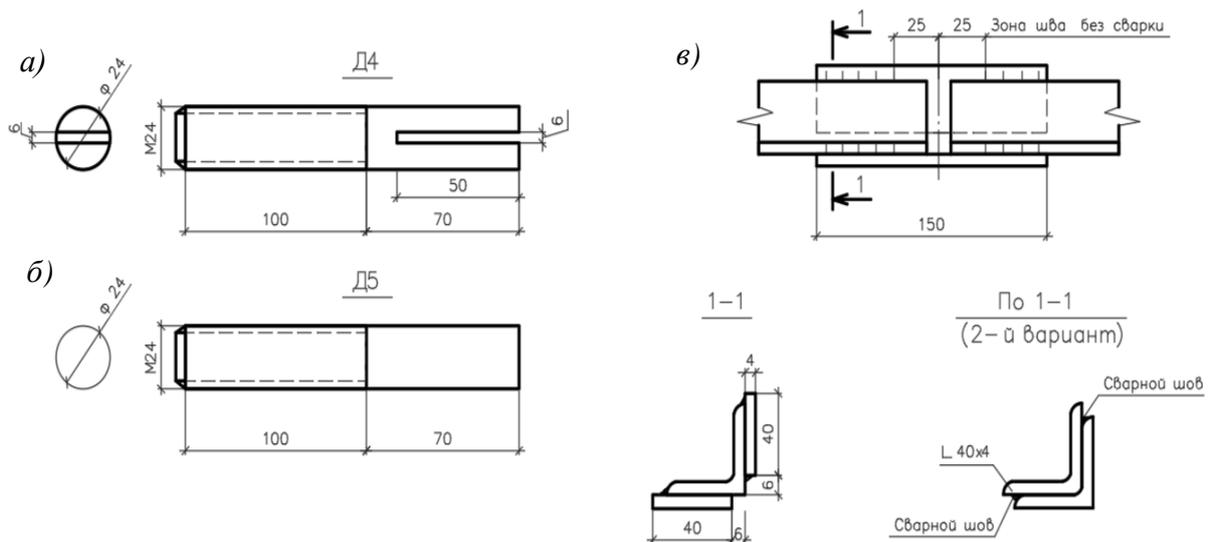


Рис. 2.9. Металлические детали и узлы для варианта усиления нижнего пояса:  
а, б – детали Д4 и Д5 к рис. 2.7; в – узел 2 к рис. 2.8

Рассмотрим поверочный расчет некоторых деталей усиления для фермы.

### Расчет тяжей

Разрыв или ослабление нижнего пояса может произойти в самой нагруженной панели. Для рассматриваемой фермы это будет панель 10-4 по рис. 2.2. Продольное усилие в ней  $N = 21010$  кг. Тяжи рассчитываем на растяжение с учетом снижения прочности в нарезанной части ( $\gamma_{c1} = 0,9$ ) и неравномерного распределения усилий между ними ( $\gamma_{c2} = 0,85$ ). Требуемая площадь сечения тяжей

$$F_{HT}^{тр} = \frac{N}{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot R_y} = \frac{21010}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 2100} = 13,08 \text{ см}^2. \quad (2.31)$$

Принимаем два тяжа  $\varnothing 30$  мм с площадью сечения

$$F_{HT} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3^2}{4} = 14,1 \text{ см}^2 \geq 13,08 \text{ см}^2.$$

Вместо тяжей можно использовать полосовую сталь (см. рис. 2.8, б, в) сечением  $10 \times 70$  мм с площадью сечения  $F_{HT} = 2 \cdot 1 \cdot 7 = 14 \text{ см}^2$ .

Упор Д2 (см. рис. 2.7) и вертикальные опорные уголки хомутов (см. рис. 2.6) рассчитываются на изгиб.

Второй способ – с помощью накладок на болтовых соединениях и стальных тяжей. По этому способу боковые накладки крепят на болтах по обе стороны ослабленного места или разрыва. На торцы этих

накладок устанавливают уголки, через которые пропускают стальные тяжи. Такое усиление следует выполнять либо при установке подпорок под нижние узлы фермы, либо при вывешенном покрытии под фермами. Если разрушение произошло в крайней панели, то размеры накладок, сечений тяжей и уголков, а также количество и диаметр стяжных болтов будут такими же, как и в расчетах по опорному узлу. Если разрушение произошло в средних панелях, то расчеты надо делать по растягивающему усилию дефектной панели.

### ***Пример эксплуатации и обследования деревянных конструкций складского здания со шпренгельными металлодеревянными фермами покрытия***

Складские здания со шпренгельными металлодеревянными фермами покрытия проектируют трехпролетными с двускатной крышей (рис. 2.10 – 2.16). У крайней наружной стены с впускными воротами устраивают рампу с легким покрытием. Средний пролет здания шириной 12 м перекрывают двускатными шпренгельными фермами с опиранием на железобетонные или кирпичные колонны.

Крайние пролеты здания шириной 9 м перекрывают односкатными шпренгельными фермами, которые одним концом опирают на продольные наружные стены, а другим – на внутренние колонны. Наружные стены в местах опирания ферм могут иметь пилястры. Шаг конструкций принимают 5 – 6 м. Шпренгельные металлодеревянные фермы попарно раскрепляют связевыми фермами. По верхним поясам ферм укладывают прогоны, выполняемые неразрезными из двух спаренных досок толщиной 40 – 60 мм. Соединения досок между собой по длине производят гвоздями диаметром 4 – 5 мм. По прогонам может быть уложен двойной настил из досок толщиной 25 – 30 мм с укладкой рулонной кровли или одинарный настил с укладкой кровли из листового материала.

Наружные стены выполняют из керамического кирпича толщиной 380 мм. Здания разделены на секции брандмауэрными стенами, которые могут иметь в местах опирания прогонов покрытия пилястры толщиной 130 мм, шириной 250 мм. Высота зданий от пола до конька составляет 7 – 9 м, а от уровня поверхности земли до карниза – 4,5 – 5,5 м.

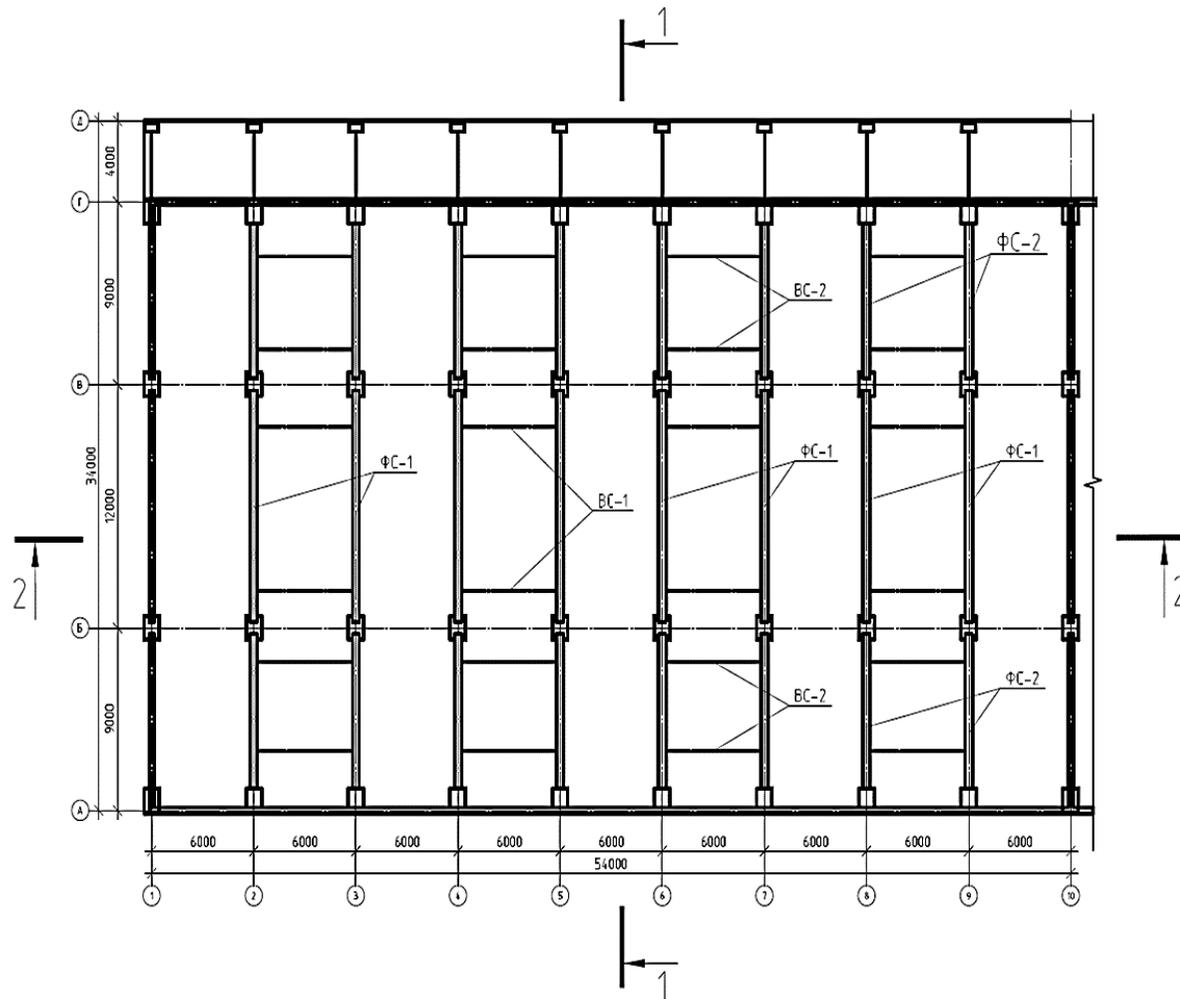


Рис. 2.10. Схема расположения конструкции покрытия в зданиях:

ФС-1 – двускатные металлодеревянные фермы; ФС-2 – односкатные металлодеревянные фермы;  
 ВС-1 – вертикальные связи между двускатными фермами; ВС-2 – вертикальные связи между односкатными фермами

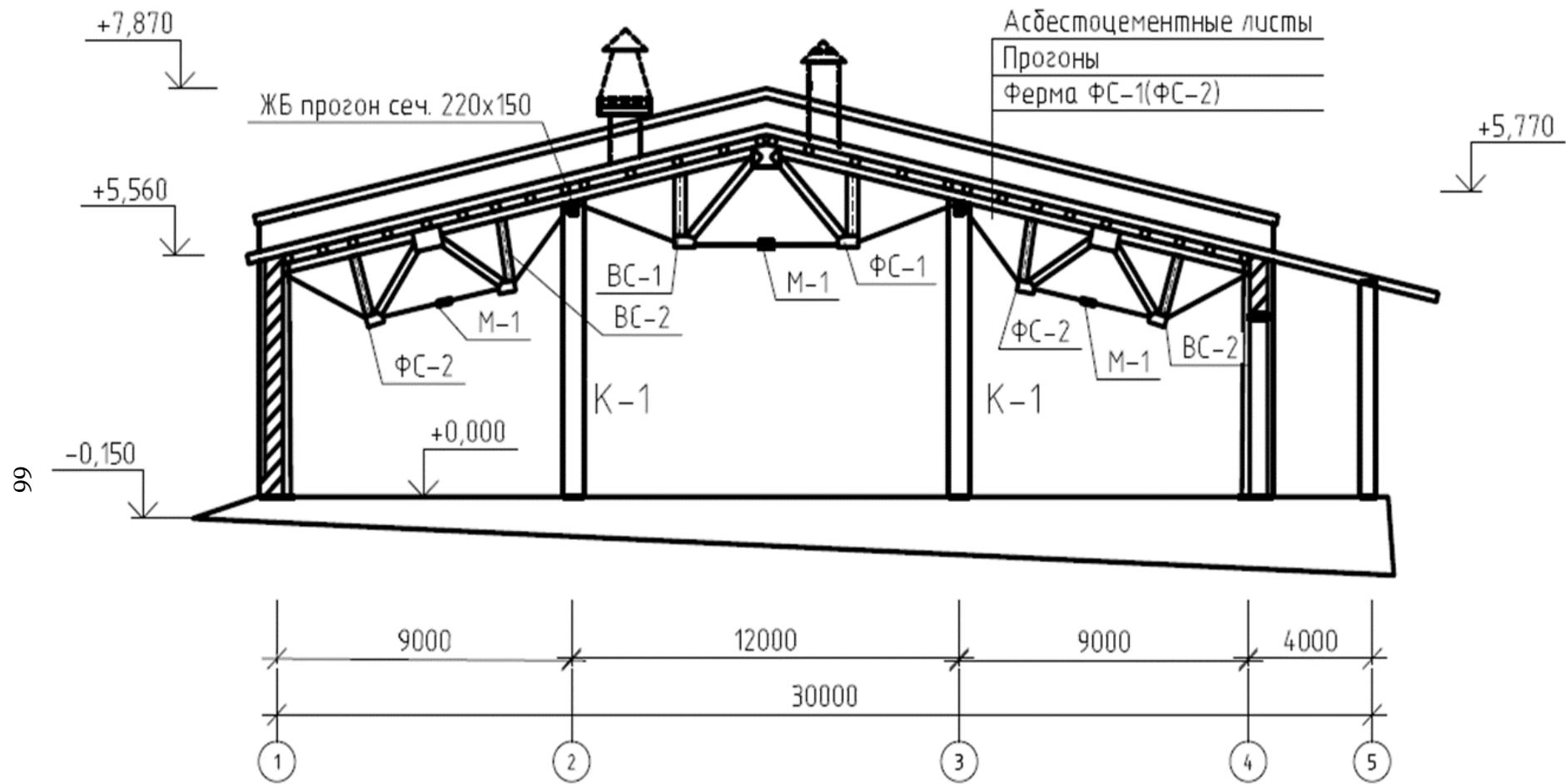


Рис. 2.11. Поперечный разрез здания 1-1 по рис. 2.10

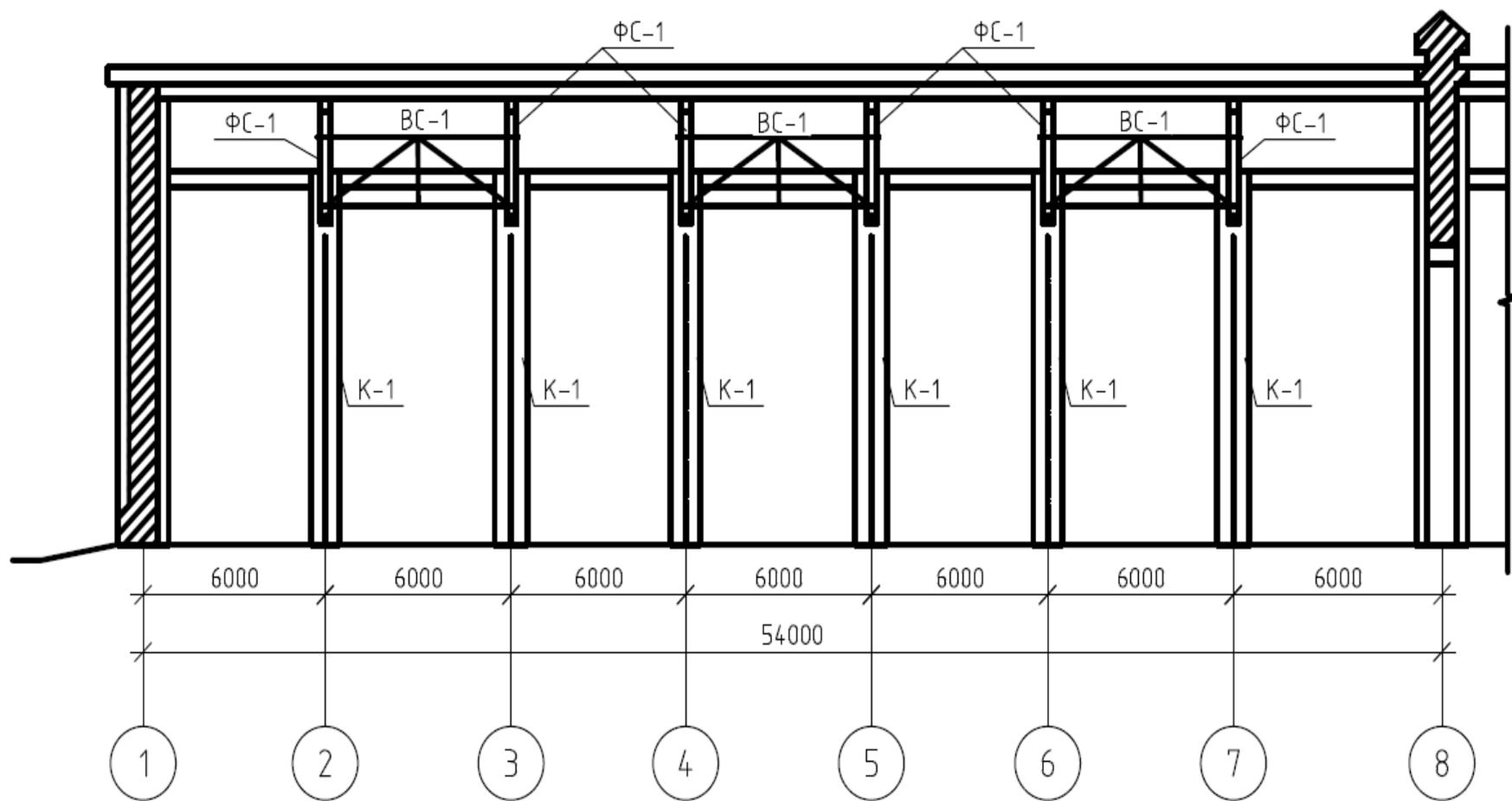
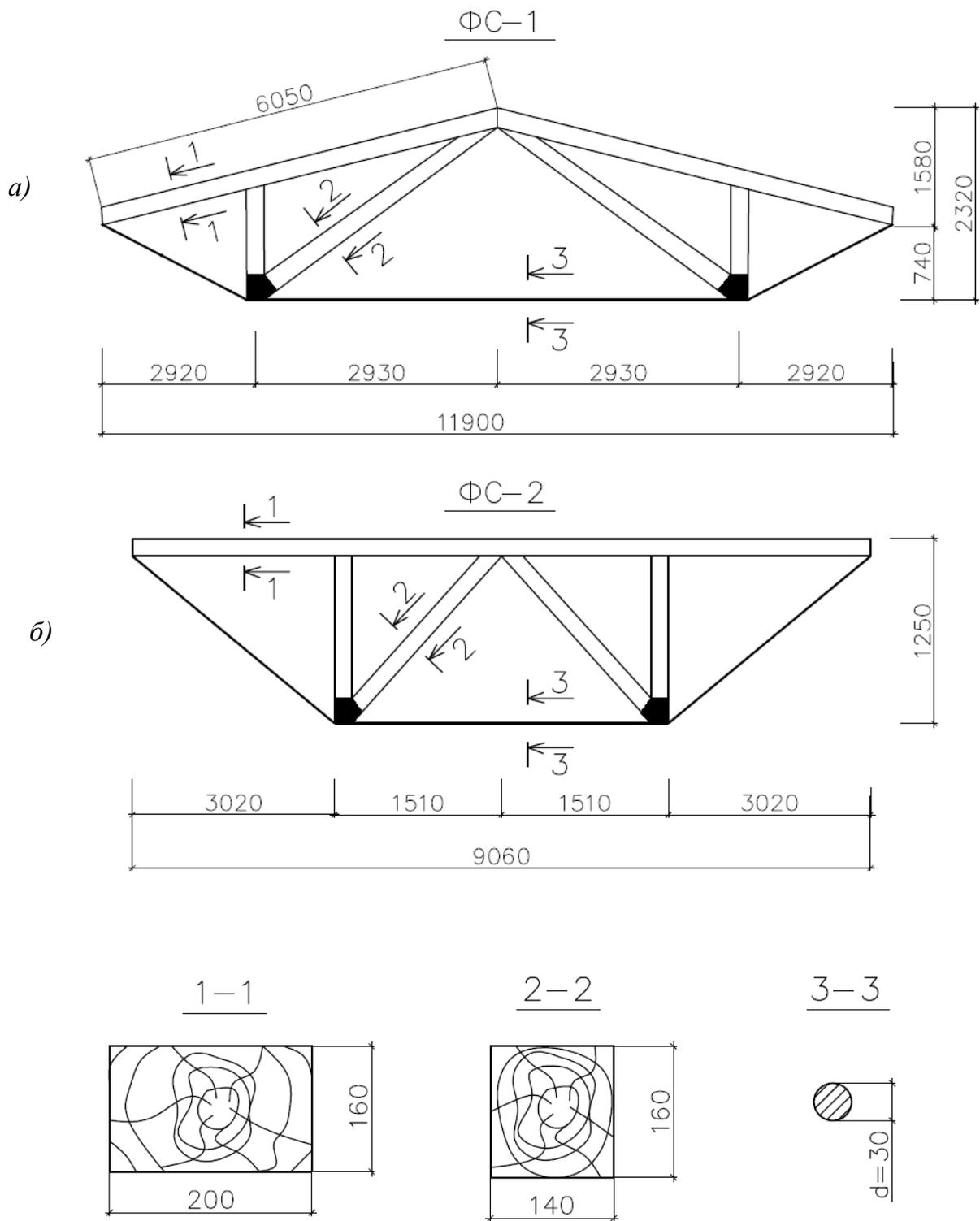


Рис. 2.12. Поперечный разрез здания 2-2 по рис. 2.10



*Рис. 2.13. Геометрические схемы ферм покрытия:  
 а – двускатной металлодеревянной фермы ΦС-1;  
 б – односкатной металлодеревянной фермы ΦС-2*

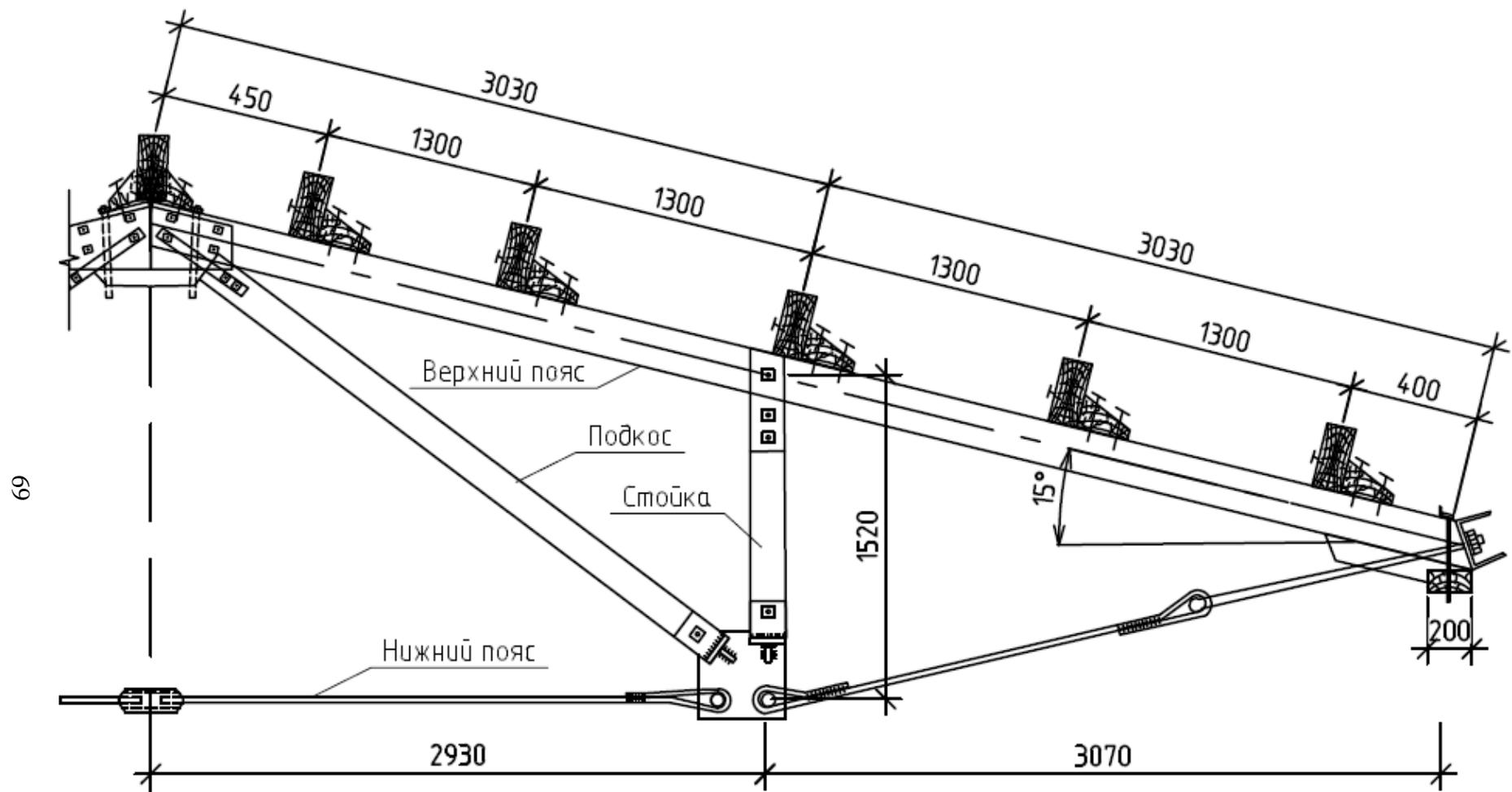


Рис. 2.14. Конструкция двускатной металлодеревянной фермы ФС-1

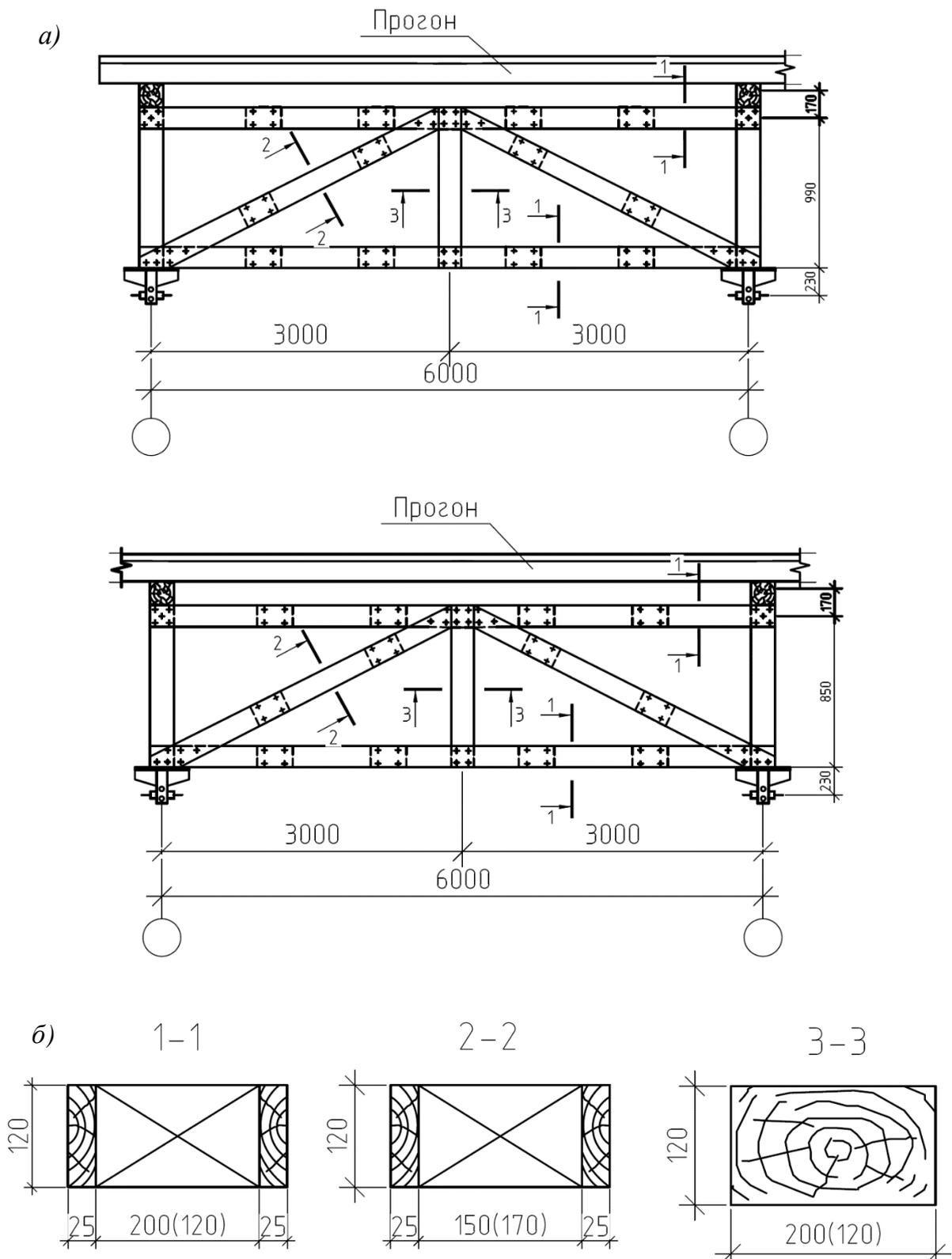


Рис. 2.15. Конструкции вертикальных связей, расположенных между металлодеревянными фермами: а – связей ВС-1, расположенных между двускатными фермами; б – связей ВС-2, расположенных между односкатными фермами

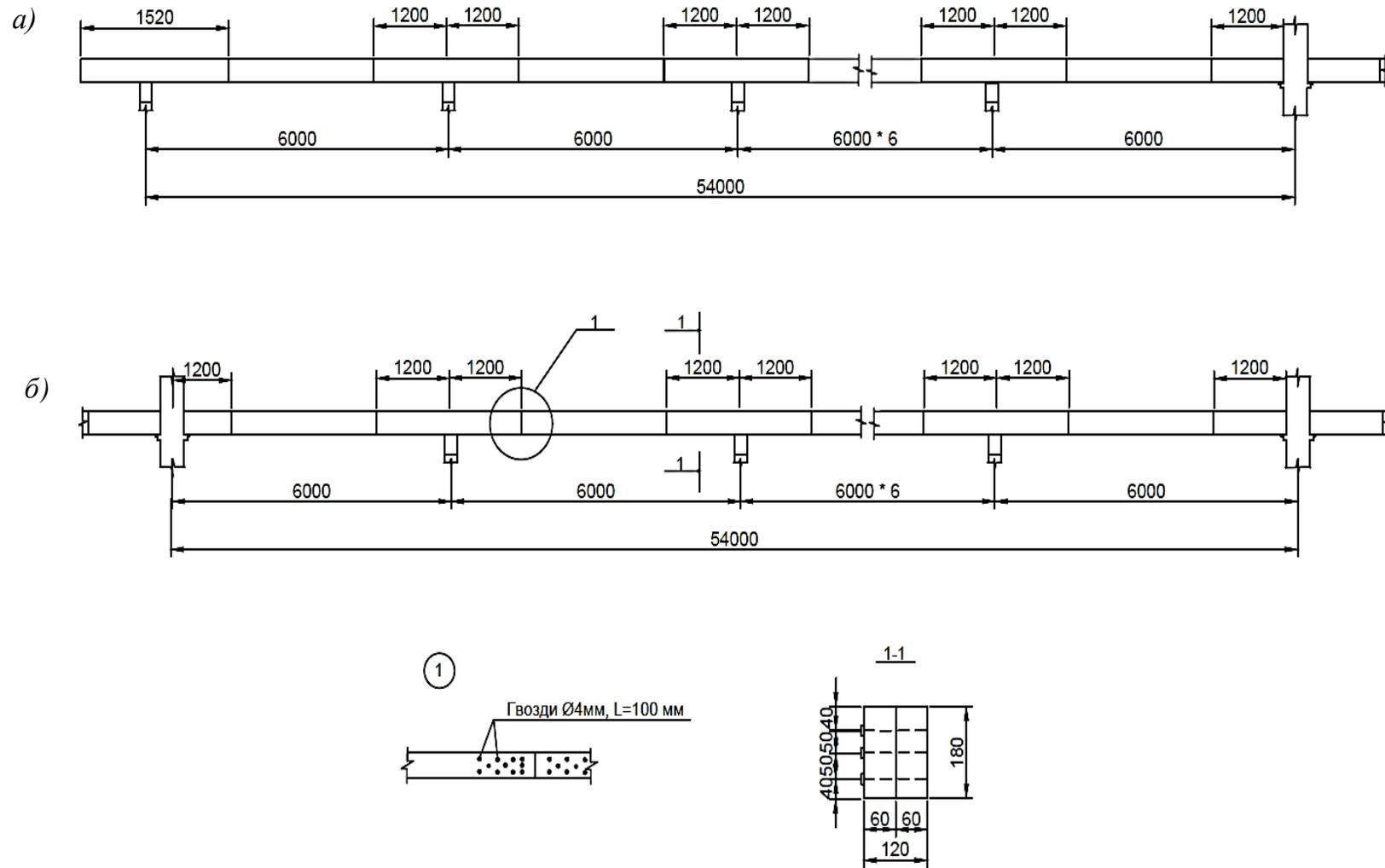


Рис. 2.16. Конструкции неразрезных прогонов покрытия здания:  
 а – расположенных в середине длины зданий; б – расположенных в крайних частях зданий

Рассматриваемое здание кроме деревянных конструкций включает в себя металлодеревянные, каменные, бетонные и железобетонные конструкции. Поэтому при проектировании, строительстве и эксплуатации следует учитывать требования, предъявляемые к деревянным, металлическим, каменным, бетонным и железобетонным конструкциям. Эти требования определяются следующими основными нормативными документами: СП 64.13330; СП 16.13330; СП 57.13330; СП 29.13330; СП 17.13330.

Эксплуатационные требования, приведенные в этих документах для деревянных и металлодеревянных конструкций, должны быть следующими:

- влажность древесины в конструкциях – не более 20 %;
- температура воздуха внутри помещения – не более 30 °С;
- должен быть осуществлен свободный доступ ко всем деревянным элементам, деталям и их узлам в здании;
- поверхности соприкосновения деревянных элементов с каменными или бетонными конструкциями необходимо изолировать слоем толя или рубероида;
- защищать деревянные детали от загнивания антисептиками;
- обрабатывать антипиренами для повышения огнестойкости;
- периодически проветривать помещения с целью недопущения в них застоя воздуха и пыли;
- периодически осматривать кровлю с целью выявления протечек и немедленной их заделки;
- проводить своевременные ремонты и усиления конструкций зданий.

В процессе эксплуатации покрытия зданий подвержены различным воздействиям и это приводит к образованию целого ряда дефектов. Но они могут возникнуть и в строительстве при отступлении от проекта. Для металлодеревянных ферм покрытий наиболее характерными дефектами являются:

- недостаточная прочность элементов;
- образование усушечных трещин по брусчатым поясам и раскосам;
- ослабление деревянных брусьев сучками на  $1/2 - 1/3$  толщины;

– загнивание брусьев в местах замачивания или образования конденсата;

– снижение прочности брусьев в результате старения древесины;

– замачивание древесины:

– поворот фермы на небольшой угол относительно верхнего пояса;

– смещение верхнего пояса и выход фермы из плоскости.

Связевые фермы применяют двух типов ВС-1 и ВС-2, они отличаются высотой, служат для раскрепления ферм ФС-1 и ФС-2. Верхний и нижний пояса связей состоят из двух досок сечением  $120 \times 25$  мм, между которыми расположены брусчатые прокладки сечением  $200 \times 120$  мм ( $120 \times 120$  мм), длиной 180 мм. Раскосы связей (связевых ферм) проектируют в двух вариантах: по первому – конструкция аналогична верхнему и нижнему поясам связей, по второму – раскосы выполняются из брусьев. Стойка в середине пролета должна выполняться из бруса сечением  $200 \times 120$  мм в связи ВС-1 и сечением  $120 \times 120$  мм в связи ВС-2. Крепление раскосов и стоек к поясам производят на гвоздях диаметром 4 мм, длиной 100 мм. В проектных вариантах допускают применение упрощенных связей. Они состоят из одинарных дощатых поясов и раскосов сечением  $120 \times 25$  мм и крепятся гвоздями непосредственно к стойкам стропильных ферм.

В процессе строительства и эксплуатации в связевых фермах возможны следующие дефекты (рис. 2.17):

– выход ферм из плоскости;

– неплотность гвоздевых креплений;

– провисание;

– зыбкость связей;

– занижение сечения элементов ферм;

– разрушение элементов грузоподъемными механизмами;

– нарушение крепления поясов к стропильным фермам;

– возникновение усушечных трещин в элементах.

Дефекты прогонов могут быть следующими:

– провисание на длине пролета;

– выгиб вдоль ската;

– неплотность соединений сплачиваемых досок;

– загнивание в местах замачивания;

– нарушение узлов опирания на фермы – сдвиги опорных бобышек;

– занижение сечения элементов.

Дефекты дощатого настила:

– провисание;

– сдвиги вдоль ската;

– нарушение гвоздевых креплений – неплотности, сдвиги:

– местные загнивания в местах протечки кровли.

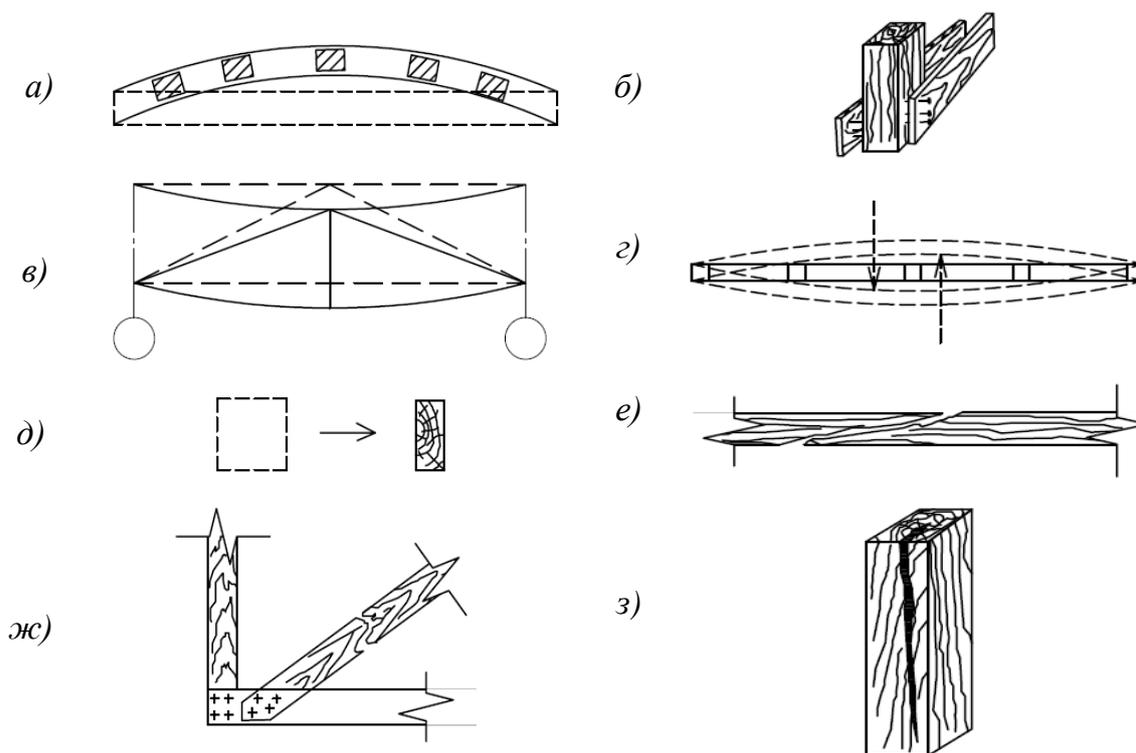


Рис. 2.17. Основные дефекты связевых ферм:

*а* – выгибы связей из плоскости; *б* – неплотности гвоздевых креплений;  
*в* – провисание связей; *г* – зыбкость связей; *д* – заниженное сечение стоек;  
*е* – разрыв поясов или сквозные трещины в поясах; *ж* – разрыв (излом) раскосов;  
*з* – трещины в стойке

Технические обследования должны содержать анализ работы конструкций с оценкой их несущей способности, деформативности и долговечности. К обследованиям должны прилагаться рекомендации по ремонту и усилению конструкций.

Несущая способность и деформативность деревянных конструкций определяются статическим и конструктивным расчетами согласно

действующим нормативным документам – СП 64.13330. Такие расчеты с учетом износа и механических свойств материала конструкции называются поверочными. Их производят для наиболее ослабленных или наиболее «опасных» по результатам обследования конструкций.

### **2.3. Защита деревянных конструкций от гниения и возгорания**

Биологический процесс разрушения деревянных конструкций можно сравнительно просто предотвратить путем их антисептирования или покрытия малыми дозами ядохимикатов.

Противогнилостная профилактика (при разработке проектов защиты следует руководствоваться СП 28.13330; СП 70.13330) разрушения деревянных конструкций заключается в выборе типа конструкции, правильном расположении слоев, которые могут загнивать, в прокладке пароизоляции со стороны помещений с высокой влажностью и в обеспечении воздушной прослойки у наружной поверхности конструкции.

Для предохранения деревянных конструкций от загнивания необходимо проводить строительную профилактику, т. е. во время строительства и ремонта применять только воздушно-сухую, при необходимости антисептированную древесину, вырезать и сжигать поврежденные части, устранять источники увлажнения конструкций [12].

В ходе эксплуатации зданий надо осуществлять эксплуатационную профилактику – не допускать увлажнения деревянных конструкций. Весной и осенью нельзя также допускать застоя воздуха на чердаках, в подвалах, подпольях и в иных помещениях с высокой влажностью. Кроме перечисленных мер особое значение в защите древесины от загнивания придается антисептированию конструкций в ходе строительства и ремонта.

Защита древесины от гниения может проводиться несколькими методами: поверхностной обработкой, пропиткой, диффузным методом, а также химическим консервированием, основанным на введении в древесину, т. е. в полости клеточных оболочек и самих клеток, химических ядов – антисептиков, убивающих грибки и древоточцев и препятствующих их развитию.

Антисептики подразделяются на следующие группы:

- антисептики, применяемые в водных растворах;
- антисептические пасты на основе водорастворимых антисептиков;
- маслянистые антисептики;
- антисептики, используемые в органических растворителях.

По цвету антисептики бывают бесцветные и тонирующие.

Антисептики, применяемые в водных растворах, – фтористый, кремнефтористый, аммонийкремнефтористый натрий и другие – предназначены для защиты тех деревянных конструкций, а также изделий из древесины, стружек, опилок, камыша, которые в период эксплуатации будут защищены от увлажнения и вымывающего действия воды.

Антисептические пасты на основе водорастворимых антисептиков – битумные, на кузбасслаке, экстрактовые на фтористом натрии и другие – по характеру связующего вещества подразделяются на битумные, на кузбасслаке, экстрактовые и глиняные. Первые две пасты не корродируют металл, они наносятся на древесину любой влажности, так как водой вымываются слабо. Экстрактовые пасты, изготовляемые на основе экстракта сульфитных щелоков, и глиняные пасты не горючи, не имеют запаха, не корродируют металл, не водостойки, т. е. легко вымываются водой.

Антисептические пасты применяются для защиты деревянных конструкций, находящихся в условиях повышенной влажности. При этом открытые и соприкасающиеся с землей конструкции, обработанные такими пастами, должны защищаться от вымывающего действия воды гидроизоляционными обмазками на битуме, кузбасслаке и т. п. Пасты используются также для заполнения трещин в конструкциях с целью защиты их от загнивания.

К маслянистым антисептикам относятся антраценовое и сланцевое масла. Они используются для защиты открытых конструкций путем пропитки их под давлением или в высокотемпературных и горячих холодных ваннах.

Антисептики, применяемые в органических растворителях (нефтепродуктах), служат для защиты наружных конструкций.

Широко распространенный в строительстве метод пропитки древесины в горячих холодных ваннах основан на капиллярном поглощении ею пропиточных растворов.

Срок службы консервированной (антисептированной) древесины увеличивается примерно в три раза. Срок службы неантисептированной древесины с влажностью более 20 % сокращается до двух лет (в погребках, колодцах, шахтах – до семи месяцев). Следовательно, при ремонте сооружений можно применять только сухую древесину, защищать ее от увлажнения или антисептировать.

Элементы, подлежащие сплошной окраске (окна, двери, чистые полы и перегородки), не антисептируются. Антисептируются наружные и скрытые элементы конструкций – деревянные фундаменты, балки, накаты, подшивка, перегородки под штукатурку и т. д.

Антисептирование может быть двух видов:

– непосредственного действия – поверхностное (производится в горячих ваннах, пропиткой под вакуумом и другими способами);

– последующего действия – диффузионное (сухое, в виде порошка, в предположении, что при эксплуатации конструкции будут увлажняться и антисептик начнет действовать).

Антисептирование может быть нормальным или повышенным (удвоенным).

Нормальное антисептирование производится при влажности древесины до 25 %, когда исключено увлажнение или обеспечено быстрое высыхание конструкций.

Повышенное (удвоенное) антисептирование концентрированными антисептиками осуществляется при влажности древесины выше 25 %, когда высыхание ее затруднено. Такому антисептированию подвергаются и более сухие конструкции, которые могут увлажняться в процессе эксплуатации сооружений.

Способы и материалы для антисептирования определяются назначением конструкций и их размерами. Все деревянные конструкции по характеру антисептирования делятся на две группы.

К первой группе относятся элементы конструкций открытых сооружений, находящихся в жестких условиях работы и требующих наиболее эффективной защиты: сваи, ростверки, а также элементы, находящиеся на открытом воздухе, – цоколи, фундаментные стойки деревянных зданий. Конструкции первой группы глубоко пропитываются каменноугольным или сланцевым маслом под вакуумом.

Ко второй группе относятся периодически увлажняемые конструкции: перекрытия первого этажа, наружные стены, балки, лаги, подоконные доски и все тонкие внутренние деревянные элементы, редко и случайно увлажняемые, доски перегородок и подшивок потолка; эти элементы антисептируются преимущественно в целях профилактики, а также когда влажность древесины превышает нормативную. Конструкции второй группы антисептируются водными химическими растворами путем пропитки в горячехолодных ваннах, окраски, обмазки. Пастами покрывают элементы, длительно или периодически увлажняемые в процессе эксплуатации. Применение паст основано на том, что при увлажнении они проникают в древесину и защищают ее от развития грибков. Пасту наносят кистями или шпателем. После подсушки ее защищают битумом или каменноугольной смолой.

Поверхностное антисептирование рекомендуется производить два раза (преимущественно водным раствором фтористого натрия с концентрацией от 3 до 10 %) путем опрыскивания из гидропульта или покраски кистями.

Сухое антисептирование осуществляется на горизонтальных поверхностях (например, на чердачном перекрытии) порошкообразными антисептиками с влажными опилками или песком.

Концы деревянных балок, закладываемых в кирпичную стену, кроме антисептирования, защищаются от увлажнения гидроизоляцией, а гнезда для них вентилируются. Однако при этом влага в древесине не должна закупориваться, т. е. торцы балок не должны закрываться гидроизоляцией.

Гидроизоляционное обертывание служит средством, предупреждающим выщелачивание антисептика, например, в конструкциях, заглубленных в грунт.

В закрытых сооружениях для обработки полусухих и тем более сырых деревянных элементов надо применять такие средства, которые не препятствовали бы сушке древесины, например антисептические пасты.

В случае обнаружения дереворазрушающих насекомых (древоточцев, жучков-точильщиков, термитов) древесина обрабатывается инсектицидами. Наличие жучков обнаруживается на слух, с помощью специального стетоскопа.

При обработке пораженных участков необходимо нагнетать антисептик в каждое отверстие (шприцем, масленкой) или смазывать их кистью, смоченной в антисептике, два-три раза с перерывами в двое-трое суток, а затем замазывать замазкой, мелом, парафином или пастой. Если элементы заменяются, то их лучше изъять и сжечь даже при небольшом поражении жуками-точильщиками.

Перед обработкой древесины одним из перечисленных антисептиков целесообразно провести газовую дезинфекцию помещений хлорпикрином, сероуглеродом, формалином и др. Однако такую дезинфекцию могут выполнять только специализированные организации при строгом соблюдении мер предосторожности.

При обнаружении в земле вблизи здания гнезд термитов их несколько раз поливают нефтью, антраценовым маслом, черной карболкой или иными составами. Грунт в подполье тщательно обследуется и в случае обнаружения ходов термитов также обрабатывается одним из упомянутых составов.

В местах большого скопления термитов рекомендуется устраивать каменные цоколи, отмостку и выполнять бетонную подготовку в полах первого этажа. Антисептирование древесины для защиты от термитов производится так же, как и от жучков-точильщиков.

В соответствии с противопожарными требованиями деревянные конструкции подлежат обработке антипиренами.

Антипирены – это вещества либо смеси, которые должны снижать горючесть материалов, имеющих органическое происхождение. К таковым относятся: древесина, полимерные соединения, натуральные и синтетические ткани, композитные материалы на основе древесных стружек, бумажно-слоистый пластик и многое другое, на что пламя воздействует очень быстро. Например, для сухой древесины, на которую не была нанесена специальная краска или пропитка, температура начала реакции пиролиза составляет всего порядка 450 °С. В таких обстоятельствах пожар будет скоротечным и абсолютно разрушительным. Эксплуатация сооружений из подобных легковоспламеняющихся материалов представляет собой опасность для людей.

Своевременное применение антипиренов в критический момент задержит распространение огня на начальной стадии, позволит произвести

спасательные мероприятия и выиграть время до приезда пожарных, так как антипирены значительно улучшают такие характеристики древесины, как температура воспламенения и горения, качественное изменение продуктов распада, замедление реакции окисления.

Антипирены необходимы для того, чтобы максимально эффективно подавить процесс возгорания и распространения пожара. При этом технические принципы решения проблемы у разных антипиренов могут сильно отличаться. Можно выделить две большие группы:

- инертные антипирены, которые никак не влияют на процесс горения, а только формируют на поверхности защитный слой, препятствующий проникновению огня;

- активные антипирены ведут борьбу с самим горением, которое представляет собой химический процесс быстрого окисления, чтобы его остановить, нужно прекратить доступ кислорода или резко снизить температуру.

В качестве антипиренов используют вещества, вступающие в реакции:

- эндотермические, когда происходит поглощение тепла;
- вещества, при которых выделяются негорючие газы или водяной пар; как правило, при этом еще образуются тугоплавкие остаточные образования;
- изменяющие ход реакции горения; например, смещают акцент с поверхностного распространения пламени на процесс коксования.

Антипирен может иметь неорганическое, органическое и смешанное происхождение. Это может быть соль металла, гидроксид, специально обработанные парафин или графит и др. Из-за изменения экологической обстановки многие антипирены перестают быть актуальными, когда оцениваются не только их действие, но и последствия.

Применение антипиренов, содержащих бром и фосфор, по возможности нужно ограничивать, так как они провоцируют негативные физиологические и экологические процессы.

К безопасным можно отнести традиционные антипирены – гидроксиды магния и алюминия. Под воздействием высоких температур они выделяют водяной пар, который в результате эндотермической ре-

акции охлаждается ниже температуры, которая требуется для поддержания горения. Естественно, не поддерживается и процесс пиролиза, зато катализируется образование твердого защитного слоя.

Все более популярными становятся экологичные антипирены нового поколения: легкоплавкое стекло, органические эко-антипирены. Многие составы обладают комбинированными свойствами, т. е. сочетают в себе характеристики разных веществ. Если в комбинированный материал входят масляные составляющие, то добавляют антипирены – вещества, снижающие горючесть древесины. Такое сочетание оправдано: оно обеспечивает мощную защиту от биологических повреждений и пожара. Комбинированные антисептики могут быть бесцветными или содержать красящий пигмент.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие применяются меры для достижения соответствующей степени надежности сооружений и их конструктивных элементов?
2. Дайте определение технического обслуживания.
3. В каких случаях не требуется производить оценку действительной надежности существующего сооружения?
4. Какие мероприятия входят в комплекс работ по технической эксплуатации деревянных конструкций?
5. Какие требования предъявляются при эксплуатации деревянных конструкций здания?
6. Какие дефекты деревянных конструкций покрытия встречаются наиболее часто?
7. По какой диаграмме можно определить усилия в стержнях ферм?
8. Какие дефекты являются наиболее характерными для металло-деревянных ферм?
9. На какие группы подразделяются антисептики, применяемые для деревянных конструкций?
10. Для чего применяются антипирены? Какие группы антипиренов можно выделить?

## Глава 3. ОСНОВНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДЕРЕВЯННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 3.1. Особенности оценки технического состояния деревянных конструкций

Контроль за техническим состоянием деревянных конструкций и инженерного оборудования зданий осуществляется проведением плановых, общих и частичных осмотров, а при необходимости – внеочередных осмотров. В процессе осмотров выявляют неисправности и причины их появления, а также объемы работ по ремонту [3].

*Общие осмотры* проводят два раза в год – весной и осенью. При этом обследуют конструктивные элементы здания, инженерное оборудование, наружную отделку и элементы внешнего благоустройства.

*Частичному осмотру* подлежат отдельные элементы конструкций здания и инженерного оборудования. При этом устраняются мелкие неисправности в отдельных ограждающих и несущих конструкциях, а в подсобных помещениях устраняют мелкие неисправности санитарно-технического оборудования (замена прокладок водопроводных кранов, очистка сифонов и т. п.).

*Внеочередные осмотры* проводят немедленно после аварий, стихийных бедствий, при повреждении несущих конструкций. При этом в первую очередь проверяют наиболее пострадавшие конструктивные элементы и инженерное оборудование.

#### *Состав общих осмотров зданий*

Весенний осмотр выполняют после эксплуатации зданий в зимний период. При осмотре проверяют состояние конструктивных элементов, инженерного оборудования и элементов внешнего благоустройства прилегающей территории. В процессе осмотра уточняют объемы намеченных работ по текущему ремонту, а также определяют неисправности и повреждения, устранение которых требует капитального ремонта.

По данным весеннего осмотра и опыта эксплуатации здания и в течение зимнего периода составляют перечень мероприятий, необходимых для подготовки здания (включая его инженерное оборудование) к эксплуатации в следующую зиму.

Осмотр здания рекомендуется проводить по отдельным частям или конструктивным элементам и системам инженерного оборудования в следующей последовательности:

- прилегающая к складу территория и элементы благоустройства;
- фундаменты и подвальные помещения;
- наружные стены и элементы фасадов, включая водоотводные устройства;
- крыша и ее вентиляционные устройства, чердачные помещения, утеплитель чердачных перекрытий, а также коммуникации и устройства, расположенные в пределах чердака и на крыше здания;
- помещения поэтажно (осмотр проводится сверху вниз от чердака к подвалу), при этом проверяют состояние перекрытий, окон, дверей, ворот, стен, перегородок;
- инженерное и санитарно-техническое оборудование (проверяется одновременно с поэтажным осмотром строительных конструкций).

Техническое состояние элементов зданий выявляют путем внешнего осмотра и по данным, полученным в процессе эксплуатации. По решению комиссии при необходимости вскрывают конструкции, берут пробы для определения качества материалов (прочности, влажности и др.) и выполняют поверочные расчеты, а также инструментальное обследование.

При осмотре зданий особое внимание следует обращать на состояние деревянных конструкций, лишенных естественного освещения и находящихся в неудовлетворительных температурно-влажностных условиях (сопряжения в карнизных узлах стропильных конструкций с кирпичными стенами; опирания балок чердачного перекрытия; перегородки и полы в душевых, туалетах, местах расположения водопроводных и канализационных трубопроводов, подвалах и т. д.), с целью обнаружения биоповреждения (грибок, жучки-точильщики).

При обнаружении во время осмотра деформаций и других нарушений деревянных конструкций необходимо установить характер, размеры и степень опасности повреждения. Если повреждения привели к снижению несущей способности и устойчивости деревянных

конструкций и ухудшению эксплуатационных качеств элементов здания и оборудования (деформации и разрушение несущих элементов, коррозия стальных деталей), необходимо принять меры по восстановлению надежности конструкций и предупреждению дальнейшего развития деформаций.

Осенний осмотр проводится для определения готовности зданий и их деревянных конструкций к зимнему периоду эксплуатации. Результаты весеннего и осеннего осмотров зданий отражаются в документах по учету их технического состояния в виде актов с указанием объемов выполненных работ и работ, подлежащих выполнению.

### *Оценка технического состояния зданий*

На основании результатов обследования определяется физический износ складских зданий, который проявляется в потере конструктивными элементами первоначальных технических и эксплуатационных свойств. Степень физического износа является важнейшим фактором, определяющим объем затрат на капитальный ремонт. Правильное определение физического износа отдельных конструктивных элементов здания имеет немаловажное значение при оценке эффективности затрат на капитальный ремонт.

При составлении технической документации на капитальный ремонт величину износа зданий устанавливают по физическому износу их отдельных элементов. После определения степени их износа вычисляют средневзвешенный процент износа здания в целом по формуле

$$И_{\phi} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{G_i}{100}, \quad (3.1)$$

где  $И_{\phi}$  – физический износ здания, %;  $A_i$  – износ конструктивного элемента здания, %;  $G_i$  – удельный вес стоимости отдельного конструктивного элемента в восстановительной стоимости здания, %.

Более подробно о методах определения физического износа описано в разд. 3.4. Рассмотрим несколько практических примеров. Определим процент износа здания на примере склада, срок эксплуатации которого составил 38 лет (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Пример определения процента физического износа складского здания

Конструктивный элемент здания	Удельный вес $G_i$ стоимости отдельного конструктивного элемента в восстановительной стоимости здания	Процент износа $A_i$ конструктивного элемента, установленный в результате обследования	Произведение $G_i \cdot A_i$
Фундаменты бутовые	4	10	40
Стены наружные несущие кирпичные	11	15	165
Колонны железобетонные	5	6	30
Несущие конструкции покрытия металлодеревянные	13	30	390
Ограждающие элементы покрытия и кровли	35	40	1400
Полы бесшовные	15	25	375
Перегородки кирпичные	4	6	24
Ворота, двери	6	8	48
Прочие элементы	7	5	35
Итого	100	–	2507

Процент износа здания в целом составляет  $25,07 \approx 25,1 \%$ .

Техническое состояние складского здания и его элементов характеризуется физическим износом, т. е. степенью утраты первоначальных эксплуатационных качеств. Физический износ определяют путем обследования визуальным способом и инструментальными методами контроля и испытания. Техническое состояние элементов определяют с учетом характера их неисправности.

Физический износ отдельных конструктивных элементов здания или сооружения по срокам службы (в процентах) можно определить, сопоставляя фактический срок службы с нормативным, по формуле

$$A_{ic} = \frac{t}{T} 100, \quad (3.2)$$

где  $t$  – фактический срок службы конструктивного элемента, г. (в случае полной замены элемента при ремонте здания исчисляется с момента замены);  $T$  – нормативный срок службы конструктивного элемента, г.

Износ здания в целом по срокам службы определяется по выражению, %

$$I_{\text{фс}} = \sum_{i=1}^n A_{ic} \frac{G_i}{100}. \quad (3.3)$$

Оценка физического износа зданий, прослуживших полный нормативный срок, или срок службы, близкий к нормативному (в процентах), рассчитывается по формулам

$$I = \frac{t \cdot 100}{T + \Delta t}; \quad (3.4)$$

$$I = \frac{2 \cdot t \cdot 100}{2 \cdot T + (T + \Delta t)}, \quad (3.5)$$

где  $\Delta t$  – возможный остаточный срок службы, определенный экспериментальным путем, г.

Рассмотрим физический износ и методы устранения неисправностей конструктивных элементов на примере складских зданий, выполненных с применением деревянных конструкций (табл. 3.2).

Если износ оценивается по срокам службы, то необходимо проверить правильность оценки сравнением ее с результатами натурального обследования технического состояния деревянных конструкций или здания. Если проверкой будет установлено существенное различие в оценках, то за основу принимают оценку по результатам натурального обследования.

Таблица 3.2. Физический износ складских зданий и методы устранения неисправностей конструктивных элементов зданий

Период эксплуатации здания	Физический износ здания, %	Характер неисправностей элементов здания	Метод устранения неисправностей
Гарантийные ремонты	–	Неисправности и повреждения несменяемых элементов незначительные. Требуется наладка и регулирование инженерных систем оборудования	Неисправности и повреждения в течение двух лет устраняют за счет подрядной организации. Наладку и регулирование инженерных систем и оборудования осуществляют эксплуатирующие организации за счет средств текущего ремонта
1-й	До 20	Неисправности и повреждения несменяемых элементов незначительные	Неисправности и повреждения несменяемых элементов устраняют при текущем ремонте, а сменяемых – при текущем или капитальном ремонте

Период эксплуатации здания	Физический износ здания, %	Характер неисправностей элементов здания	Метод устранения неисправностей
2-й	20 – 60	Значительные неисправности и повреждения несменяемых элементов	Неисправности и повреждения несменяемых и сменяемых элементов устраняют при текущем и капитальном ремонтах. При капитальном ремонте можно выполнить работы по повышению благоустройства зданий
3-й	Свыше 60	Значительные неисправности и повреждения сменяемых элементов. Эксплуатация зданий возможна с ограничениями	Восстановление и замена изношенных элементов экономически нецелесообразны. Для обеспечения безаварийной эксплуатации требуется проведение охранных мероприятий и ремонтных работ поддерживающего характера, обеспечивающих безопасную работу людей в здании

Приближенный способ оценки физического износа деревянных зданий основывается на теории надежности. Предполагается, что интенсивность износа является величиной постоянной, а для аналитического определения износа деревянных конструкций во времени может быть применена формула

$$И = (1 - e^{-\pi \cdot t})100, \quad (3.6)$$

где  $e$  – константа, основание натуральных логарифмов;  $\pi = 0,00965$  – интенсивность износа деревянного элемента или здания;  $t$  – фактический срок службы, г.

Представим в табличной форме пример физического износа складского здания с учетом срока эксплуатации (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Пример физического износа складского здания с учетом срока эксплуатации

Конструктивный элемент здания	Удельный вес конструктивного элемента в стоимости здания	Процент физического износа конструктивного элемента, установленного по срокам службы с учетом его замены, %	Произведение удельного веса конструктивного элемента на процент износа с учетом срока его эксплуатации, %
Фундаменты бутовые	4	$\frac{38}{50} 100 = 76$	$4 \cdot 76 = 304$
Стены наружные – кирпичные, цоколь и главные карнизы отремонтированы 15 лет назад	11	$\frac{15}{40} 100 = 37,5$	$11 \cdot 37,5 = 412,5$
Колонны железобетонные	5	$\frac{38}{80} 100 = 47,5$	$5 \cdot 47,5 = 237,5$
Несущие конструкции покрытия металлодеревянные	13	$\frac{38}{50} 100 = 76$	$13 \cdot 76 = 988$
Ограждающие элементы покрытия, кровля – асбестоцементная, заменена 5 лет назад	35	$\frac{5}{30} 100 = 16,7$	$35 \cdot 16,7 = 584,5$
Полы бесшовные – цементные отремонтированы 3 года назад	15	$\frac{3}{30} 100 = 10$	$15 \cdot 10 = 150$
Перегородки – кирпичные, оштукатурены 5 лет назад	4	$\frac{5}{75} 100 = 6,7$	$4 \cdot 6,7 = 26,8$
Ворота, двери заменены 2 года назад	6	$\frac{2}{10} 100 = 20$	$6 \cdot 20 = 120$
Прочие элементы	7	5	$7 \cdot 5 = 35$
Итого	100	–	2858,3

Износ складского здания в целом с учетом срока службы его конструктивных элементов и проведенных ремонтно-восстановительных работ определяется по формуле (3.3) и составляет

$$I_{\text{фс}} = \sum_{i=1}^n A_{ic} \frac{G_i}{100} = \frac{2858,3}{100} = 28,6 \%$$

Процент износа конструктивных элементов здания  $A_{ic}$ , вычисленный по срокам их службы, особенно деревянных и металлодеревянных, значительно завышен по сравнению с результатами обследования, приведенными в табл. 3.1, и требует уточнения.

Процент износа конструкций покрытия, ограждающих деревянных и стропильных металлодеревянных, рекомендуется уточнять по приближенной формуле (3.6)

$$A_{ic} = И = (1 - e^{-\pi \cdot t})100 = (1 - 2,71828^{-0,00965 \cdot 38})100 = 30,7 \%$$

Полученную величину процента износа деревянных конструкций покрытия требуется сравнить с результатами обследования, приведенными в табл. 3.1. При расхождении величин износа более чем на 10 % необходимо проведение повторного обследования с корректировкой значений износа конструктивных элементов здания.

В нашем случае расхождение величин износа деревянных конструкций покрытия составляет 2,3 %, что меньше допустимых 10 %. Поэтому наиболее достоверной величиной физического износа здания в целом следует считать  $I_{\phi} = 25,1 \%$ .

По величине физического износа здания при  $I_{\phi} = 20 \% \leq 25,1 \% \leq 60 \%$  по табл. 3.2 устанавливаем, что здание находится во втором периоде эксплуатации. В этом случае значительные неисправности и повреждения несменяемых и сменяемых элементов здания могут устраняться при текущем и капитальном ремонтах.

### ***Определение процента физического износа на примере складского здания, прослужившего полный нормативный срок***

Складское здание выполнено с полным деревянным каркасом пролетом 9,0 м, а каркас здания – из дощатых рам и спаренных прогонов. Ограждающие конструкции – совмещенные вентилируемые по сплошному дощатому настилу; покрытие – из асбестоцементных волнистых листов. По капитальности здание относится ко 2-му классу с нормативным сроком службы 25 лет. На 2023 г. здание находилось в эксплуатации 55 лет, т. е. время эксплуатации на 30 лет превысило нормативный срок службы. По экспериментально-теоретическим данным, на 2023 г. древесина (сосна) в течение 80 лет сохранит необходимые прочностные свойства. В связи с этим возможный остаточный срок службы здания со временем окончания нормативного срока составляет  $30 + 80 = 110$  лет.

Процент физического износа здания по формулам (3.4) и (3.5) составляет соответственно

$$И = \frac{55 \cdot 100}{25 + 110} = 40,7 \%;$$

$$И = \frac{55^2 \cdot 100}{2 \cdot 25(25 + 100)} = 44,8 \%.$$

Физический износ здания по приближенному способу оценки производится по формуле (3.6)

$$A_{ic} = И = (1 - e^{-\pi \cdot t})100 = (1 - 2,71828^{-0,00965 \cdot 55})100 = 41,2 \%.$$

По величине физического износа здания при  $И_{\phi} = 40,7 \% \leq 41,2 \% \leq 60 \%$  по табл. 3.2 устанавливаем, что здание находится во втором периоде эксплуатации. По табл. 3.4 проводим оценку технического состояния деревянных несущих конструкций.

Таблица 3.4. Шкала оценки износа деревянных конструктивных элементов

Физический износ элемента, %	Оценка технического состояния	Общая характеристика технического состояния конструктивного элемента	Примерная стоимость капитального ремонта (в процентах от восстановительной стоимости конструктивных элементов)
0 – 20	Хорошее	Повреждений и деформаций нет. Имеются отдельные устраняемые при текущем ремонте мелкие дефекты, не влияющие на эксплуатацию конструктивного элемента. Капитальный ремонт может производиться лишь на отдельных участках, имеющих относительно повышенный износ	0 – 11
21 – 40	Удовлетворительное	Конструктивные элементы в целом пригодны для эксплуатации, но требуется капитальный ремонт, который наиболее целесообразен именно на данной стадии	12 – 36
41 – 60	Неудовлетворительное	Эксплуатация конструктивных элементов возможна лишь при условии значительного капитального ремонта	38 – 90

Окончание табл. 3.4

Физический износ элемента, %	Оценка технического состояния	Общая характеристика технического состояния конструктивного элемента	Примерная стоимость капитального ремонта (в процентах от восстановительной стоимости конструктивных элементов)
61 – 80	Ветхое	Состояние несущих конструктивных элементов аварийное, а ненесущих – ветхое. Ограниченное выполнение конструктивными элементами своих функций возможно лишь при проведении охранных мероприятий или полной смены конструктивного элемента	93 – 120
81 – 100	Негодное	Конструктивные элементы находятся в разрушенном состоянии	Более 120

В соответствии с табл. 3.4 техническое состояние деревянных несущих конструкций здания оценивается как неудовлетворительное. Эксплуатация деревянных несущих и ограждающих конструкций возможна лишь при условии значительного капитального ремонта.

Процент физического износа и скорость износа зависят от ряда факторов, среди которых наряду с природными факторами большое влияние оказывают ремонты. Благодаря ремонтам происходит частичное восстановление некоторых элементов здания. Особенно большое влияние оказывает периодичность проведения капитальных ремонтов, которые снижают величину физического износа.

Наряду с оценкой физического износа производят оценку морального износа. Степень морального износа оценивается характером и степенью отклонения от нормативных требований к планировке и уровню инженерного благоустройства складских помещений. Для количественного определения величины морального износа применяют технико-экономические и другие методы, изложенные в специальной литературе.

Учитывая трудоемкость определения уровня физического износа складских зданий на основе визуального осмотра, на практике ежегодный размер износа рассчитывают по нормам амортизационных отчислений на полное восстановление.

### **3.2. Классификация дефектов и аварий деревянных конструкций по причинам их возникновения**

Дефекты и аварии деревянных конструкций могут возникать вследствие неправильного проектирования; неправильного производства работ; нарушения правил эксплуатации деревянных конструкций; стихийных бедствий, пожаров и взрывов.

#### ***Определение процента физического износа на примере складского здания, прослужившего полный нормативный срок***

Рассмотрим дефекты и аварии, вызванные ошибками конструирования и расчета деревянных конструкций с позиции современного состояния строительной науки и действующих строительных норм независимо от времени возведения или проектирования деревянных конструкций, а также ошибками в оформлении проекта.

Вследствие неправильного проектирования встречаются следующие разновидности дефектов:

1. Применение нерациональных конструктивных схем деревянных конструкций:

– не отвечающих функциональному назначению или условиям эксплуатации здания или сооружения;

– с чрезмерно большими или чрезмерно малыми соотношениями пролета и высоты;

– в процессе эксплуатации которых может произойти перераспределение усилий с изменением их знака;

– не учитывающих анизотропию свойств древесины.

Так, например, нерациональной считается конструкция деревянной стойки, опорный конец которой закреплен в грунте. Даже при использовании антисептированной древесины защемленные в грунте концы деревянных стоек частично или полностью разрушаются гнилью.

Нерациональными являются конструкции крыш с перепадами, вследствие которых могут образовываться большие снеговые мешки. При эксплуатации двухпролетных деревянных ферм в случае осадки одной из опор происходит перераспределение усилий во многих ее элементах со сменой знака усилий на противоположный. Неравномерно распределенная нагрузка отрицательно влияет на неразрезные прогоны и подкосные системы покрытий и навесы над рампами.

2. Отклонения от действующих СП, указаний, инструкций и других нормативных документов в области строительства могут происходить вследствие:

- ошибок при проектировании;
- изменения ранее действующих строительных норм;
- изменения функционального назначения здания или конструкции, а также условий эксплуатации деревянных конструкций.

Отклонения в проектах от действующих строительных нормативных документов проявляются в ряде дефектов деревянных конструкций, например:

- в перенапряжении конструктивных элементов;
- наличии недостаточного количества крепежных элементов (болтов, тяжей и т. д.), в отсутствии стяжных болтов, в нарушении правил расстановки крепежных элементов;
- в отсутствии связей жесткости, обеспечивающих устойчивость сжатых поясов плоских деревянных конструкций и общую устойчивость здания или сооружения;
- неправильном без надлежащего центрирования решении узловых сопряжений элементов в деревянных конструкциях;
- превышении предельных деформаций изгибаемых деревянных конструкций;
- неправильных конструктивных мероприятиях по борьбе с гниением и пожарной опасностью. Перенапряжения конструктивных элементов могут возникнуть вследствие неправильного учета в проекте температурно-влажностных условий эксплуатации деревянных конструкций.

Потеря устойчивости сжатых поясов сквозных деревянных конструкций и выпучивание сжатых полок дощато-гвоздевых балок, как правило, является следствием отсутствия связей жесткости. Дефекты в разработке требуемых нормами конструктивных мероприятий по борьбе с гниением проявляются в необеспечении надлежащей защиты деревянных конструкций от увлажнения атмосферной или конденсационной влагой, т. е. в отсутствии гидроизоляционных прокладок в местах сопряжения деревянных конструкций с конструкциями и деталями, выполненными из других строительных материалов, в наличии мостиков холода, в отсутствии должного проветривания и т. д.

3. Плохое оформление проекта выражается:

- в отсутствии технической документации на изготовление, сборку и монтаж деревянных конструкций;
- в отсутствии указания о качестве, породе и влажности древесины и т. п.

Дефектом деревянных конструкций следует считать отсутствие окорки и острожки поверхностей деревянных элементов и выбор нерационального варианта конструкций с точки зрения противопожарных норм и требований.

Отклонения от нормативных положений действующих норм устанавливаются только после детального обследования состояния и работы деревянных конструкций и их элементов, осуществления поверочных расчетов. Правильно запроектированные в свое время деревянные конструкции могут не отвечать требованиям современных норм вследствие перехода от метода расчета строительных конструкций по допускаемым напряжениям к методу расчета по предельным состояниям, а также вследствие изменения исходных величин, необходимых для определения нагрузок, действующих на строительные конструкции, и расчетных схем распределения этих нагрузок по строительным конструкциям. Так, например, для поверочных расчетов сегментных ферм снеговая нагрузка принимается как треугольная кососимметричная с коэффициентом надежности по нагрузке 1,4. На такой вид нагружения и величину расчетной нагрузки данный тип конструкций по ранее существующим нормам не рассчитывался, что привело к ряду аварий.

### ***Дефекты и аварии деревянных конструкций, возникающие вследствие неправильного производства работ***

В данную группу входят дефекты и аварии, происходящие по вине производителя работ:

- при изготовлении деревянных конструкций;
- при монтаже деревянных конструкций.

Нарушение технологии изготовления деревянных конструкций, регламентируемой соответствующими СП, инструкциями, рекомендациями и техническими условиями, может происходить при выполнении как одной, так и нескольких технологических операций в процессе изготовления деревянных строительных деталей или конструкций. Данный процесс включает:

- сушку лесоматериалов;
- раскрой лесоматериалов на черновые заготовки;
- обработку на станках;
- сборку узлов и изделий;
- отделку.

Существуют следующие основные причины возникновения дефектов и аварий, обусловленные неправильным производством работ по изготовлению деревянных конструкций:

- использование для изготовления деревянных конструкций материалов более низкого качества, чем указанные в СП и ГОСТах;
- отсутствие оборудования, необходимого для осуществления всех технологических операций;
- выполнение работ неквалифицированным техническим персоналом;
- выполнение работ при отсутствии или нарушении технической документации;
- плохая организация системы контроля за качеством изготовления;
- неправильное хранение лесоматериалов и готовой продукции.

Сушка лесоматериалов – одна из важнейших стадий изготовления деревянных конструкций. Некачественная сушка лесоматериалов приводит к возникновению в нем внутренних напряжений, которые отрицательно влияют на состояние деревянных конструкций.

Повышенная начальная влажность элементов деревянных конструкций может служить источником загнивания. После сушки важно, чтобы древесина не подвергалась увлажнению в процессе всего срока эксплуатации конструкции. Несоответствие проектной влажности лесоматериала фактической приводит к усушке или разбуханию древесины, к появлению усушечных трещин, короблению и другим дефектам.

Неудовлетворительный раскрой лесоматериалов на черновые заготовки выступает следствием изготовления дефектной конструкции, геометрические размеры которой могут существенно отличаться от проектных.

Некачественная механическая обработка лесоматериалов фрезерованием, сверлением и тому подобными технологическими операциями выражается в получении деталей деревянных конструкций с недопустимыми отклонениями от номинальных размеров, с дефектами

формы, с содержанием недопустимых пороков древесины, неправильным расположением отверстий под болты и недостаточным их количеством, а также в получении поверхностей древесины низкого класса шероховатости. Некачественная механическая обработка при сборке конструкций влечет за собой плохую приторцовку сминаемых поверхностей контактных соединений.

Если неточно произведена разбивка деревянной конструкции, то на стадии сборки будет получена конструкция с недопустимыми отклонениями от проектных размеров.

При изготовлении деревянных конструкций используются различные виды соединений: на цилиндрических нагелях, гвоздях, клеях и т. д. Каждому виду соединений в деревянных конструкциях соответствуют вполне определенные дефекты изготовления.

Дефектами соединений на болтах, цилиндрических нагелях и шурупах являются:

- несоответствие отверстий для металлических нагелей болтов и шурупов их диаметрам. Диаметры отверстий для нерабочих стяжных болтов должны быть больше диаметров болтов на 1 – 2 мм. Отверстия под нагели, винты, глухары и шурупы не должны быть больше 0,8 их диаметра;

- неправильное размещение нагелей. Отклонения в расстояниях между центрами отверстий для нагелей не должны превышать для входных отверстий +2 мм, для выходных отверстий поперек волокон +5 мм, а для выходных отверстий вдоль волокон +10 мм;

- уход отверстия в сторону и просверливание отверстия;

- одностороннее по оси бруса или доски размещение нагелей в растянутых стыках;

- раскалывание досок поперек волокон при запрессовке нагелей;

- наличие широких металлических накладок, препятствующих усушке и разбуханию деревянных элементов;

- наличие щелей между соединяемыми деревянными элементами.

Дефектами соединения на гвоздях следует считать:

- неправильное размещение гвоздей;

- небрежную забивку гвоздей;

- недостаточную длину заземленной части гвоздей (при применении досок, толщина которых превышает проектную толщину) или использование гвоздей, размеры которых не соответствуют проектным;
- недостаточное расстояние между концами встречных гвоздей во внутренних деревянных элементах;
- наличие щелей между соединяемыми деревянными элементами.

Дефектами соединений на пластинчатых нагелях являются:

- неправильная расстановка пластинчатых нагелей;
- наклонное расположение гнезд и пластинок по отношению к плоскости шва;
- излишне большая глубина гнезд;
- различная глубина гнезд в сплачиваемых элементах;
- неправильное положение пластинчатых нагелей в гнездах;
- неправильные размеры пластинчатых нагелей;
- отсутствие зазоров между торцом пластинок и основанием гнезда;
- наличие усушечных трещин по плоскостям скалывания;
- наличие большого зазора между сплачиваемыми деревянными элементами.

Дефекты соединений на призматических шпонках следующие:

- ослабление поперечных сечений соединяемых деревянных элементов пропилами на избыточную по отношению к проектной глубину при изготовлении гнезд под призматические шпонки;
- неплотности швов между призматическими шпонками и поверхностью гнезд;
- наличие усушечных трещин по плоскостям скалывания;
- недостаточное натяжение болтов;
- неправильное размещение стяжных болтов.

Дефектами соединений на гладких кольцевых шпонках являются:

- неправильная нарезка дорожек, т. е. неправильный выбор инструмента и больших, чем это предусмотрено проектом, размеров по ширине и глубине;
- неправильная центровка гладких кольцевых шпонок;
- неправильное положение разреза кольца;

- отсутствие зазора между разрезанными частями кольца или наличие малого зазора между ними;
- отсутствие стяжных болтов;
- неправильная расстановка гладких кольцевых шпонок;
- отсутствие колец в некоторых гнездах;
- отсутствие требуемых проектом прокладок и накладок.

Дефектами соединений на врубках следует считать:

- несоответствие проектным размерам и формы врубок;
- недопустимая глубина пропилов;
- неправильное центрирование элементов в опорных и точных узлах в промежуточных узлах;
- неплотность сопряжения по площадкам смятия;
- наличие усушечных трещин по площадкам скалывания;
- отсутствие аварийных болтов или скоб;
- отсутствие предусмотренных проектом крепежных деталей;
- наличие сучков и наклона волокон по площадкам скалывания и ослабленных врубками сечений растянутых элементов.

Дефектами соединений на тяжах и хомутах являются:

- небрежная обработка закругленных концов деревянных накладок и прокладок и отсутствие подкладок под охватывающими их хомутами;
- неплотное прилегание хомутов к охватываемым поверхностям деревянных элементов;
- отсутствие косых шайб при наклонном положении тяжей по отношению к упорным поверхностям;
- недостаточная жесткость упорных элементов;
- отсутствие контргаек;
- срыв резьбы у концов тяжей;
- неравномерное распределение усилий между тяжами.

Дефекты клеевых соединений:

- использование клеев, составленных из компонентов, не удовлетворяющих требованиям ГОСТов;
- несоответствие материала склеиваемых элементов виду клея;
- наличие клеевых прослоек толщиной более 0,5 мм (допускаются участки с толщиной клеевых прослоек до 1 мм, если их длина не превышает 100 мм, а расстояние между ними не менее 1 м);
- несклеенные места в зубчатых соединениях;

- непроклеенные места в соединениях с фанерными накладками;
- непроклеенные места в зонах с небольшими величинами скалывающих напряжений, например, на опорах длиной не менее 1 м в каждую сторону от опасных сечений, указанных в технических условиях или на чертежах;
- наличие непроклеенных мест длиной более 100 мм или длиной до 100 мм, но расположенных на расстоянии менее их десятикратной длины;
- применение усового соединения для фанеры не вдоль волокон в наружных слоях шпона;
- наличие усового соединения фанеры длиной менее 10 толщин сращиваемых листов;
- использование для склеивания досок толщиной более 33 мм;
- использование для склеивания прямолинейных элементов досок толщиной 48 мм без устройства в них продольных компенсационных прорезей;
- наличие при ширине пакета в 250 мм взаимного сдвига швов оклеиваемых кромок в смежных слоях менее чем на толщину слоя;
- возникновение трещин по клеевому шву или по древесине вблизи клеевого шва;
- наличие склеенных с фанерой досок шириной более 10 см при угле между волокнами  $90^\circ$ , наличие досок шириной более 15 см при углах  $30 - 45^\circ$  или при отсутствии в последнем случае болтов, шурупов и гвоздей, воспринимающих отрывающее усилие.

***Дефекты деревянных конструкций, возникающие при некачественном выполнении строительно-монтажных работ***

Неправильное производство работ по транспортировке и монтажной сборке, подъему, установке в проектное положение и закреплению несущих деревянных конструкций служит причиной аварии или повреждения этих конструкций.

Неправильный захват деревянных строительных элементов подъемными тросами, например, при больших расстояниях между захватками креплений при отсутствии распорных брусьев или траверсы приводит к изгибу сжатых в процессе монтажа элементов из плоскости конструкции,

к образованию в них трещин, а иногда и к разрушению конструкции. При отсутствии под петлями захватов металлических или деревянных подкладок возникают большие обмятия рабочих элементов деревянных конструкций. Дефектной деревянная конструкция может получиться после монтажной или укрупнительной сборки при некомплектной поставке с завода необходимых деталей соединения.

Собранные деревянные конструкции при неправильном хранении на строительной площадке, т. е. не в вертикальном положении, без необходимого опирания, без защиты от увлажнения и тому подобных мероприятий, могут стать дефектными вследствие перекоса элементов, выпучивания, расстройств соединений, коробления и т. д. Увлажнение несущих деревянных конструкций может произойти при отсутствии в опорных узлах гидроизоляционных прокладок от каменных и бетонных стен, столбов, фундаментов, а также при глухой заделке опорных частей деревянных конструкций в каменную кладку, в бетон или в металлические башмаки.

Повышенная влажность деревянных конструкций в сочетании с отсутствием надлежащей защиты антисептиками приводит к разрушению деревянных конструкций или их частей вследствие гниения.

Разрушение деревянных конструкций или повреждение их частей происходит при неправильном раскреплении конструкций временными связями до постановки прогонов и устройства крыши или постановки стационарных связей.

Дефектом деревянных конструкций будет их установка в положение, отличающееся от проектного на недопустимую величину.

Одной из причин существования дефектов в строительных конструкциях можно назвать нарушение правил приемки деревянных сооружений или деревянных конструктивных элементов без надлежащей проверки:

- соответствия деревянных конструкций требованиям проекта и технических условий;
- точности выполнения отдельных деталей и соединений;
- правильности установки конструкции в сооружении и правильности ее сборки;
- выполнения мероприятий по защите конструкций от поражения грибками и древесными вредителями, а также от возгорания;
- наличия актов промежуточной приемки.

### *Дефекты и аварии деревянных конструкций, возникающие вследствие нарушений правил эксплуатации*

В данную группу входят дефекты и аварии деревянных конструкций, которые проявляются:

- в необеспеченности надлежащего ухода за деревянными конструкциями;
- несвоевременном выполнении ремонта кровли;
- несвоевременной очистке крыши от снега;
- несоблюдении температурно-влажностного режима в зоне размещения деревянных конструкций;
- нарушении гидроизоляции от грунтовой воды от каменных и бетонных стен и в отсутствии надлежащей защиты от атмосферных осадков;
- нарушении теплоизоляции и пароизоляции ограждающих конструкций отапливаемых зданий;
- нарушении осушающего температурно-влажностного режима эксплуатации;
- превышении расчетной величины временной полезной нагрузки;
- изменении схемы работы деревянных конструкций;
- недопустимом увлажнении деревянных конструкций бытовой влагой;
- расстройстве сопряжений и в необеспечении надлежащей плотности соединений;
- физическом износе или в механических повреждениях деревянных конструкций или их элементов;
- в необеспечении профилактических мероприятий по борьбе с гниением и пожарной опасностью.

При нарушении правил эксплуатации возникают следующие основные дефекты и аварии деревянных конструкций:

- разрушение деревянных конструкций или их отдельных элементов при превышении в них расчетных сопротивлений вследствие перегрузки от снеговой или временной полезной нагрузки, физического износа или частичного повреждения конструктивных элементов,

которые привели к уменьшению расчетных сечений, а также при неблагоприятном для конструкции изменении схемы ее работы и при расстройстве сопряжений;

– разрушение деревянных конструкций гнилью, развивающейся при наличии протечек в кровельном покрытии, нарушении гидроизоляции от грунтовых вод, каменных и бетонных стен, при нарушении защиты от атмосферных осадков, от образования конденсата, при недопустимом увлажнении бытовой влагой и т. д.

Во многих случаях дефекты и аварии деревянных конструкций при нарушении правил эксплуатации обусловлены неграмотностью технадзора.

### ***Дефекты и аварии деревянных конструкций, возникающие вследствие стихийных бедствий, взрывов и пожаров***

Стихийные бедствия (наводнения, ураганы, землетрясения) в некоторых случаях являются причиной повреждения или аварий деревянных конструкций. По своим разрушительным последствиям пожары и взрывы военного или эксплуатационного происхождения могут быть приравнены к стихийным бедствиям. Стихийные бедствия, взрывы и пожары, если не произошло обрушение деревянных конструкций, приводят к значительным повреждениям элементов конструкций.

Дефектами поврежденных деревянных конструкций являются:

- разрушение отдельных элементов;
- потеря устойчивости сжатых элементов;
- смещение деревянных конструкций с опор (иногда перенос конструкций покрытия на значительное расстояние);
- ослабление сечений деревянных элементов от механических повреждений или от воздействия огня;
- перекос деревянных конструкций;
- образование трещин в деревянных элементах;
- расстройство сопряжений.

В некоторых случаях после повреждения деревянных конструкций при стихийных бедствиях, взрывах и пожарах возникает экономически оправданная необходимость восстановления и ремонта этих конструкций.

### 3.3. Методика оценки ремонтпригодности несущих деревянных конструкций

#### *Алгоритм оценки ремонтпригодности*

Алгоритм оценки ремонтпригодности представлен на рис. 3.1.

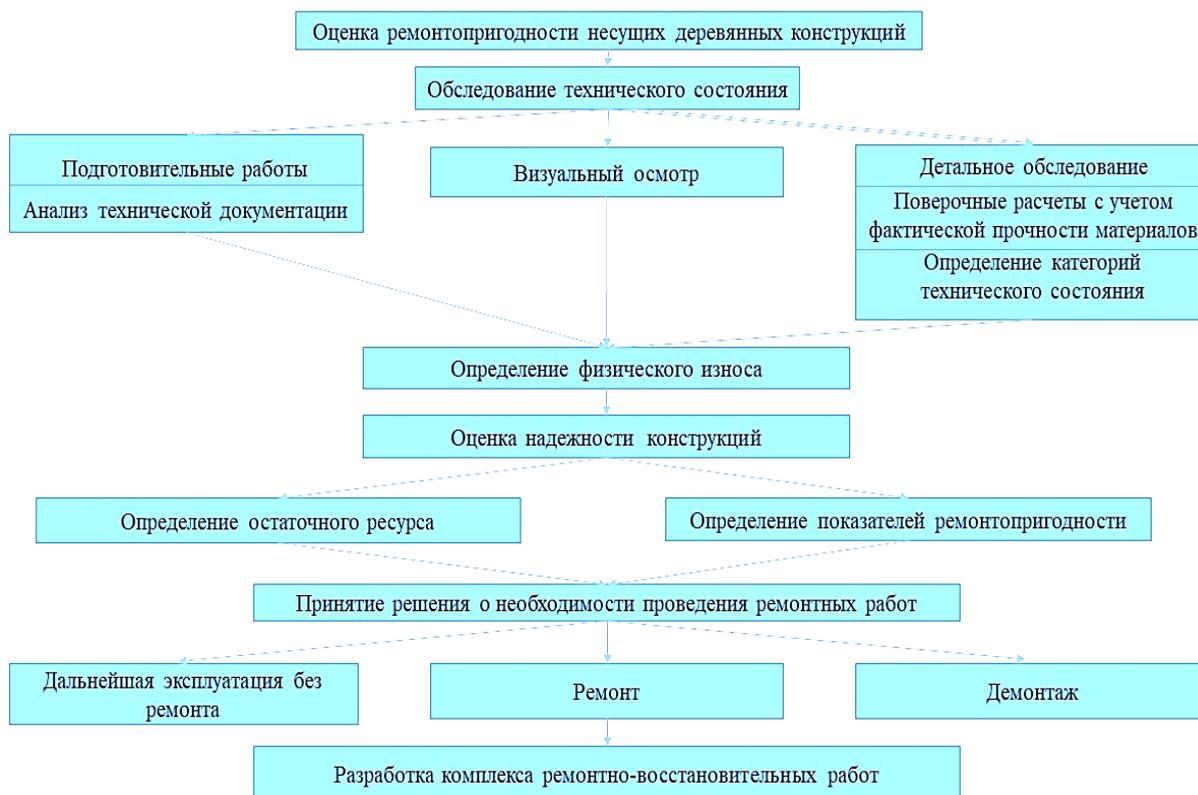


Рис. 3.1. Алгоритм оценки ремонтпригодности деревянных конструкций

Методика оценки ремонтпригодности включает следующие шаги:

1. Обследование технического состояния деревянных конструкций.
2. Расчет значения физического износа.
3. Оценка надежности деревянных конструкций.
4. Определение показателей ремонтпригодности.
5. Определение остаточного ресурса.
6. Принятие решения о необходимости проведения ремонта.
7. Разработка комплекса ремонтно-восстановительных работ.

Подробнее об обследовании технического состояния деревянных конструкций описано в разд. 3.1. Методы определения физического износа конструкций будут приведены в разд. 3.4, а примеры реального расчета его значения представлены в разд. 3.1.

Результатом обследования технического состояния является определение категории технического состояния, в том числе после выполнения поверочных расчетов.

### ***Поверочные расчеты***

Поверочные расчеты конструкции производятся для определения остаточной несущей способности на основании расчета показателя прочности материала. Кроме того, результаты сопоставляются с нормативными требованиями и расчетными значениями, и на этой основе даются рекомендации по поддержанию эксплуатационных качеств конструкции (ремонт, усиление, восстановление) [9].

Не всегда удается провести лабораторные исследования для определения свойств материала (древесины), поэтому необходимо учитывать снижение прочности древесины, используя коэффициенты, полученные эмпирическим путем.

Снижение жесткостных и прочностных свойств древесины в результате деградации свойств в течение  $t$  лет эксплуатации определяется по формулам:

$$\begin{aligned}R_{c,t} &= R_c \cdot \gamma_{c,t}; \\R_{и,t} &= R_{и} \cdot \gamma_{и,t}; \\E_t &= E \cdot \gamma_{E,t},\end{aligned}\tag{3.7}$$

где  $R_c$ ,  $R_{и}$  и  $E$  – расчетные сопротивления на сжатие и на изгиб соответственно и модуль упругости древесины, согласно действующему СП 63.13330;  $\gamma_{c,t} = 0,87$  – коэффициент условий работы древесины, учитывающий длительную эксплуатацию конструкций на сжатие;  $\gamma_{и,t} = 0,84$  – коэффициент условий работы древесины, учитывающий длительную эксплуатацию конструкций на изгиб;  $\gamma_{E,t} = 0,85$  – коэффициент условий работы древесины, учитывающий длительную эксплуатацию конструкций.

Пример поверочного расчета деревянных конструкций приведен в разд. 2.2.

### ***3.3.1. Определение надежности конструкций***

Теоретические аспекты надежности деревянных конструкций описаны в разд. 2.1.

Согласно «Рекомендациям по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» степень повреждающего воздействия на надежность оценивается путем уменьшения коэффициента запаса конструкции (надежности) [18]

$$\gamma_0 = \gamma_m \cdot \gamma_c \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n, \quad (3.8)$$

где  $\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу;  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы;  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке;  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению.

Относительная надежность конструкции при эксплуатации определяется по формуле [5]

$$y = \frac{\gamma}{\gamma_0}. \quad (3.9)$$

Поврежденность конструкции определяется по формуле

$$\varepsilon = 1 - y, \quad (3.10)$$

где  $y$  – фактический коэффициент надежности конструкции с учетом имеющихся повреждений.

Значения  $y$ ,  $\varepsilon$  и приблизительная стоимость ремонта  $C$  по восстановлению первоначального вида в процентах по отношению к начальной стоимости для разных категорий технического состояния конструкций приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Оценка технического состояния деревянных конструкций в соответствии с имеющимися у них повреждениями

Категория технического состояния	Относительная надежность $y = \frac{\gamma}{\gamma_0}$	Поврежденность $\varepsilon = 1 - y$	Стоимость ремонта $C$ , %
Исправное	1	0	0
Работоспособное	0,95	0,05	0 – 11
Ограниченно работоспособное	0,85	0,15	12 – 36
Недопустимое	0,75	0,25	37 – 90
Аварийное	0,65	0,35	91 – 130

При этом надежность конструкции должна оцениваться в соответствии с максимальными повреждениями по всей конструкции. Чтобы оценить категорию технического состояния конструкции, необходимо иметь не менее одного признака, перечисленного в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Оценка технического состояния деревянных конструкций по внешним признакам

Категория технического состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействия внешней среды на конструкцию
Исправное	–	Волосные усадочные трещины в конструкциях
Работоспособное	Ослабление креплений отдельных болтов, хомутов, скоб	Большие щели между досками наката и балками перекрытия
Ограниченно работоспособное	Продольные трещины в конструкциях. Сдвиги и отслоения в швах и в узлах конструкций, заметные на глаз, и частичные зазоры в сплоченных дощатых пакетах между отдельными рабочими сдвигающимися поверхностями более 2 мм. Прогибы изгибаемых элементов превышают предельные значения СП 20.13330	Следы протечек, мокрые пятна в конструкциях. Гниль в мауэрлате и в концах стропильных ног, снижающая прочность до 15 %
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 1/2 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 %
Аварийное	Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета. Быстро развивающиеся деформации. Сквозные трещины в накладках стыков по линии болтов ферм. Надломы и разрушения отдельных конструкций. Скалывание врубок. Потеря устойчивости конструкций (поясов ферм, арок, колонн)	Поражение гнилью и жучком строительных конструкций, приводящих к снижению их прочности более 25 %

Общая оценка поврежденности объекта производится через отдельные виды строительных конструкций по формуле

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i}, \quad (3.11)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$  – максимальные повреждения отдельных видов конструкций;  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$  – коэффициент значимости отдельных видов конструкций.

Относительная оценка надежности объекта

$$y = 1 - \varepsilon. \quad (3.12)$$

Величину повреждения строительных конструкций через  $t$  ее эксплуатации определяют по формуле

$$\varepsilon = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (3.13)$$

Постоянную износа определяют по данным обследования

$$\lambda = -(\ln y)/t\varphi, \quad (3.14)$$

где  $t\varphi$  – срок эксплуатации в годах на момент обследования.

Срок службы строительных конструкций здания с начала эксплуатации до капитального ремонта измеряется в годах и вычисляется по формуле

$$t = 0,16/\lambda. \quad (3.15)$$

Срок службы строительных конструкций здания с начала эксплуатации до аварийного состояния измеряется в годах и рассчитывается по выражению

$$t = 0,22/\lambda. \quad (3.16)$$

Относительная надежность по определенному износу может также определяться по формуле

$$y = -1,5625 \cdot Ph^4 + 3,125 \cdot Ph^3 - 2,1875 \cdot Ph^2 + 0,125 \cdot Ph + 0,99, \quad (3.17)$$

где  $h$  – величина физического износа.

Уравнение, описывающее процесс накопления физического износа деревянными конструкциями, имеет вид

$$Ph = 0,0169 \cdot \ln t \cdot t^{0,446} + 0,0661. \quad (3.18)$$

В зависимости от найденной относительной надежности может определяться категория технического состояния объекта (табл. 3.7).

Таблица 3.7. Определение категории технического состояния по относительной надежности

Относительная надежность	Категория технического состояния
0,99 – 0,951	Нормативная
0,95 – 0,851	Работоспособная
0,85 – 0,751	Ограниченно работоспособная
0,75 – 0,651	Недопустимая
0,65	Аварийная

### ***3.3.2. Определение остаточного ресурса деревянных конструкций***

Фактический срок службы большинства зданий и сооружений из деревянных конструкций может превышать 55 – 75 лет. Однако объем ветхих домов в Российской Федерации огромен, и для точной оценки материальных ресурсов и экономической целесообразности их ремонта и реконструкции необходимо разработать новейшую методологию оценки ремонтпригодности конструкций.

Современные стандарты проектирования позволяют обеспечить надежность (прочность, жесткость, устойчивость) деревянных конструкций в течение планируемого периода эксплуатации. Тем не менее нормативные документы определяют конкретную работу древесины как конструкционного материала (анизотропия, изменение механических свойств в зависимости от условий эксплуатации, температуры и влажности, продолжительности нагрузки и т. д.). Учитывая опыт эксплуатации, реальная эксплуатационная практика показывает, что есть примеры как быстрого разрушения эксплуатируемых деревянных конструкций, так и длительной эксплуатации без аварий.

Вопросы ремонтпригодности и оценки остаточной жизни деревянных конструкций, особенно их количественной оценки, до сих пор плохо изучены.

Выделяют следующие этапы жизненного цикла деревянных конструкций:

1-й этап – этап приработки (проектирование, изготовление, транспортировка и монтаж);

2-й этап – этап работоспособности конструкции (работа конструкции, сопровождающаяся изменением физико-механических свойств древесины до момента определения ее остаточного ресурса);

3-й этап – достижение предельного срока службы (работа конструкции при достижении ей остаточного ресурса с продолжающимся изменением физико-механических свойств).

На первом этапе при соблюдении всех действующих требований норм и правил изначальный ресурс объекта не подвержен снижению

$$T_{ир} = \text{const}, \quad (3.19)$$

где  $T_{ир}$  – изначальный ресурс ОДД, лет.

На первом этапе высока вероятность бесперебойной работы конструкции, продолжительность которой во время эксплуатации зависит от качества строительства и монтажных работ.

На втором этапе факторы, влияющие на остаточный ресурс, могут привести как к положительному эффекту – увеличению срока службы, так и к отрицательному эффекту, уменьшая его. Совокупное влияние всех факторов часто приводит к сокращению срока службы объекта. Возникающие дефекты и поломки влияют на несущую способность конструкций, они продолжают работать в прежнем режиме без ограничений, но при этом их надежность постепенно снижается.

Изначальный ресурс на данном этапе представляет собой сумму отработанного и остаточного ресурсов. Первый выражается в виде реализованного физического износа в годах

$$T_{ир} = T_{вр} + T_{ор} + T_{др}, \quad (3.20)$$

где  $T_{вр}$  – отработанный ресурс, лет;  $T_{ор}$  – остаточный ресурс, лет;  $T_{др}$  – дополнительный ресурс, приобретаемый объектом за счет ремонтных действий эксплуатирующей организации, лет.

Дополнительные ресурсы появляются в ходе масштабных ремонтов и реконструкций. Таким образом, возможны следующие случаи:

$$\begin{cases} T_{др} \leq T_{вр}; \\ T_{ир} \geq T_{ор} \end{cases} \quad (3.21)$$

либо

$$\begin{cases} T_{др} \geq T_{вр}; \\ T_{ир} \leq T_{ор}. \end{cases} \quad (3.22)$$

Проанализировав приведенные выше формулы, можно сделать вывод о возможности бесконечного поддержания эксплуатации. Однако необходимо учитывать предельный износ, который характеризуется степенью накопления дефектов конструкции, ремонт которых нецелесообразен.

Продление второго этапа возможно при проведении планово-предупредительных работ. Снижение вероятности безотказной работы конструкции в течение второго этапа означает, что дальнейшая эксплуатация конструкции по первоначальной схеме невозможна и конструкция подлежит ремонту.

На третьем этапе жизненного цикла происходит полное исчерпание ресурса конструкций, которые не отвечают требованиям норм и не обеспечивают всех заданных эксплуатационных параметров и находятся в ограниченно работоспособном либо в аварийном состоянии. Таким образом, изначальный ресурс фактически превышает значения действующих норм, и конструкция, выработавшая остаточный ресурс, подвергается утилизации.

Следует понимать, что срок службы деревянной конструкции на момент определения остаточного ресурса связан с пределом прочности древесины. Российскими исследователями подтверждено, что длительная работа древесины под нагрузкой сопровождается снижением ее прочности вследствие накопления микроскопических трещин. Для деревянных конструкций особую роль играет приведенное время действия нагрузки, причем чем более длительный характер имеет воздействие, тем меньше сопротивление древесины.

Самым важным параметром, определяющим техническое состояние объекта, является несущая способность его несущих конструкций. Расчетное сопротивление древесины, модуль упругости и коэффициент надежности должны определяться с учетом времени эксплуатации конструкций. В качестве основной характеристики кратковременной прочности в учебном пособии использовались нормативные сопротивления древесины сжатию и изгибу, проработавшей в течение рассматриваемого срока эксплуатации, а также модуль упругости сжатию вдоль волокон.

Для оценки остаточного ресурса следует определить параметры текущего технического состояния объектов, возведенных из деревянных

конструкций: характеристики древесины, а также условия ее эксплуатации. Два этих параметра следует принять как определяющие, так как именно они оказывают влияние на ключевые факторы – несущую способность и деформативность конструкции при эксплуатации.

Предел прочности и модуль упругости древесины являются механическими характеристиками, определяющими напряженно-деформированное состояние конструкций; их изменение оказывает влияние на несущую способность и деформативность конструкции. При этом возможно даже изменение расчетной схемы конструкции.

Количественные показатели характеристик меняются под воздействием переменных факторов, к которым следует отнести условия и срок эксплуатации конструкций.

### ***Принятие решения о необходимости проведения ремонтных работ***

Исходя из данных, полученных в результате оценки технического состояния объекта и остаточного ресурса, необходимо разработать обоснованное решение относительно дальнейшей эксплуатации объекта. Это решение может предусматривать использование объекта в соответствии с его остаточным ресурсом или проведение необходимых ремонтных работ, уменьшение рабочих параметров или даже демонтаж объекта. Важно, чтобы данное решение было принято компетентной организацией, проводившей техническое обследование и оценку остаточного ресурса [22].

На данном этапе заканчивается определение ремонтпригодности и целесообразности восстановления деревянных конструкций. Подробно о видах их ремонта и усиления написано в четвертой главе данного пособия.

## **3.4. Методы определения физического износа конструкций**

Для оценки физического износа конструкций используются следующие методы [1]:

- а) прямые:
  - метод фактического возраста;
  - метод ремонтных издержек;

б) экспертные:

- общий метод;
- поэлементный метод;

в) статистические:

- метод снижения доходности;
- метод стадии ремонтного цикла;

г) расчетно-аналитические:

- метод снижения потребительских свойств;
- стоимостной метод.

Изменение физического износа объекта в процессе эксплуатации показано на рис. 3.2.

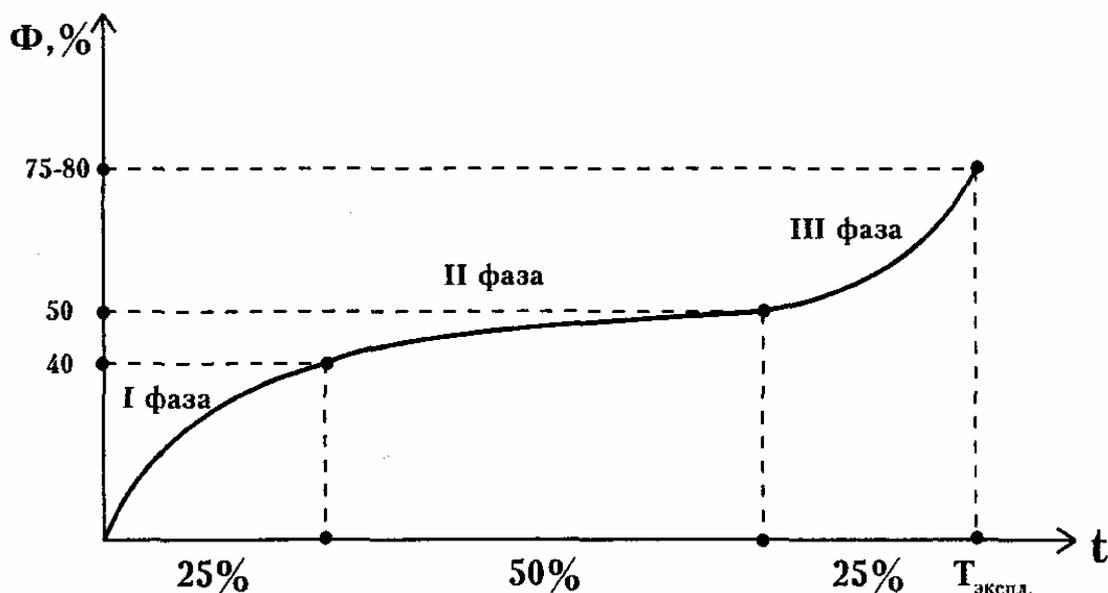


Рис. 3.2. Обобщенный график изменения физического износа объекта в процессе эксплуатации: I фаза – период повышенного износа; II фаза – период длительного, медленного износа; III фаза – период интенсивного износа

Нормативную базу для определения физического износа составляют следующие основные нормы и технические документы:

ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий»;

Методические рекомендации «Правила оценки физического износа многоквартирных домов» (разработаны в уточнение ВСН 53-86(р) в 2018 г.).

Методики определения физического износа представлены ниже.

1. Метод фактического возраста (метод определения физического износа по нормативным срокам службы). Расчет производится по формуле

$$Ph = \frac{T_{\phi}}{T_h} BC = \frac{T_{\phi}}{T_h} 100 \%, \quad (3.23)$$

где  $T_{\phi}$  – фактический возраст;  $T_h$  – нормативный срок службы;  $BC$  – восстановительная стоимость.

Преимущество данного метода заключается в простоте выполнения расчетов и минимуме расчетных показателей. В качестве недостатка можно указать, что метод не учитывает работы по восстановлению и увеличению эксплуатационного ресурса здания (капитальный ремонт или реконструкция).

2. Метод ремонтных издержек. Физический износ приравнивается к затратам на ремонт

$$Ph = Z_{в.р}. \quad (3.24)$$

Если затраты на ремонт больше восстановительной стоимости, то построить новое здание экономически оправданнее, чем ремонтировать существующее. Такой расчет выполнить несложно, но применять данный метод для определения физического износа здания можно только на начальной стадии эксплуатации при  $T_{\phi} < T_h$ .

3. Стоимостной метод

$$Ph = \frac{C_{рем.,i}}{C_{в,i}} 100 \%, \quad (3.25)$$

где  $C_{рем.,i}$  – стоимость необходимых ремонтных работ для устранения повреждения или замены  $i$ -й отдельной конструкции, элемента или системы, ден. ед.;  $C_{в,i}$  – восстановительная стоимость  $i$ -й отдельной конструкции, элемента или системы, ден. ед.

К преимуществам данного метода можно отнести простоту выполнения расчета, но так же, как и предыдущий метод, его можно применить только на начальной стадии эксплуатации.

4. Экспертный метод оценки. Физический износ гражданских зданий определяется как частное, полученное при делении хронологического возраста объекта на срок его эксплуатации.

Преимущество данного метода заключается в простоте выполнения расчетов и минимуме расчетных показателей. К основным недостаткам следует отнести:

– невозможность учесть, что эксплуатационный ресурс здания мог увеличиться за счет проводимых работ по капитальному ремонту и реконструкции;

– не учитываются условия и интенсивность эксплуатации конструкции;

– большое количество погрешностей.

5. Методика А. В. Белых, П. С. Фоломеевой. Расчет выполняется по формуле

$$\text{Физ. изн. (\%)} = \left( 0,4 - \frac{0,357x^{0,044}}{e^{0,0305x}} \right) 100 \%, \quad (3.26)$$

где  $x$  – хронологический возраст здания.

П. С. Фоломеевой была предложена корректировка формулы путем введения коэффициента эксплуатации КЭ, равного отношению физического износа, полученного по математической модели и по результатам технического обследования.

Представленный метод достаточно достоверный и точный. Но данная математическая модель справедлива при постоянном накоплении дефектов и повреждений конструкций зданий во времени и имеет небольшие погрешности при прогнозировании износа.

6. Временной метод (метод Росса) является разновидностью метода хронологического возраста

$$\text{Физ. изн. (\%)} = 100 \% \left( \frac{e^2}{T^2} \right). \quad (3.27)$$

К преимуществам данного метода можно отнести возможность учета эксплуатации объекта, простоту выполнения расчетов и минимум расчетных показателей. Однако данный метод имеет много погрешностей.

7. Методика Р. О. Корсакова основана на построении графиков (зависимостей) «возраст – износ» объектов капитального строительства (ОКС). На основе полученных зависимостей автором был разработан онлайн-калькулятор для получения быстрой оценки физического износа ОКС в зависимости от возраста объекта и класса конструктивной системы.

8. Методика, утвержденная Распоряжением мэра Москвы от 15.07.1996 № 81/1-РМ «О Порядке установления коэффициента пересчета остаточной стоимости одного квадратного метра общей и жилой площади к их стоимости в сопоставимых ценах 1990 г.». Данная методика описывает линейный рост физического износа, т. е. происходит постепенный рост физического износа конструкций без резких скачков.

Приведенный перечень методов показывает, что в нормативно-технической литературе отсутствует единая методика оценки ремонтно-пригодности деревянных конструкций. Однако можно выделить общий подход, который сводится к исследованию технического состояния и надежности строительных конструкций. Под надежностью понимается определенная остаточная прочность конструкции, обусловленная физическим износом здания.

Методы испытаний, используемые для оценки технического состояния деревянных конструкций, включают разрушающие и неразрушающие методы контроля. Основные методы неразрушающего контроля представлены на рис. 3.3.

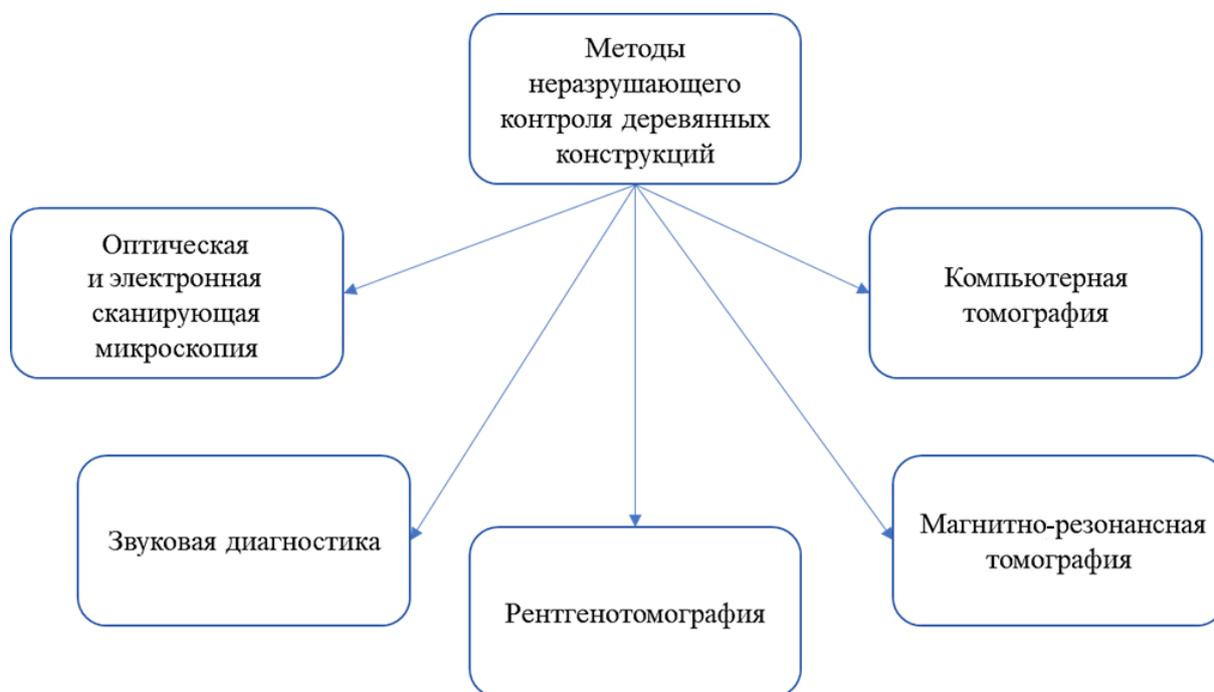


Рис. 3.3. Методы неразрушающего контроля

С помощью оптической микроскопии оцениваются микроструктурные элементы, толщина адгезионного слоя, шероховатость и рельеф поверхности, угол смачивания.

Акустическая диагностика измеряет плотность древесины.

Рентгенотомография используется для качественной оценки плотности древесины, выявления дефектов и оценки размеров микроструктурных элементов и включений.

Компьютерной томографией определяют плотность и сортамент, макроструктурные компоненты.

Однако перечисленные методы не дают информации о прочностных свойствах конструкции, т. е. об остаточном ресурсе ДК в эксплуатации. Остаточные прочностные характеристики дают возможность оценить ремонтпригодность конструкции или элемента, однако прочность может быть определена только разрушающими методами.

### **3.5. Общие подходы к проведению испытаний эксплуатируемых элементов деревянных конструкций**

#### ***3.5.1. Места для отбора заготовок для изготовления образцов***

Отбор заготовок для изготовления стандартных образцов производится из участков эксплуатируемых деревянных конструкций с наименьшими напряжениями по мере их доступности (рис. 3.4). По длине элемента выбирают места с наименьшими внутренними усилиями (изгибающим моментом, поперечной силой и продольным усилием в зависимости от типа конструктивного элемента). Ослабление элемента было минимальным [4].

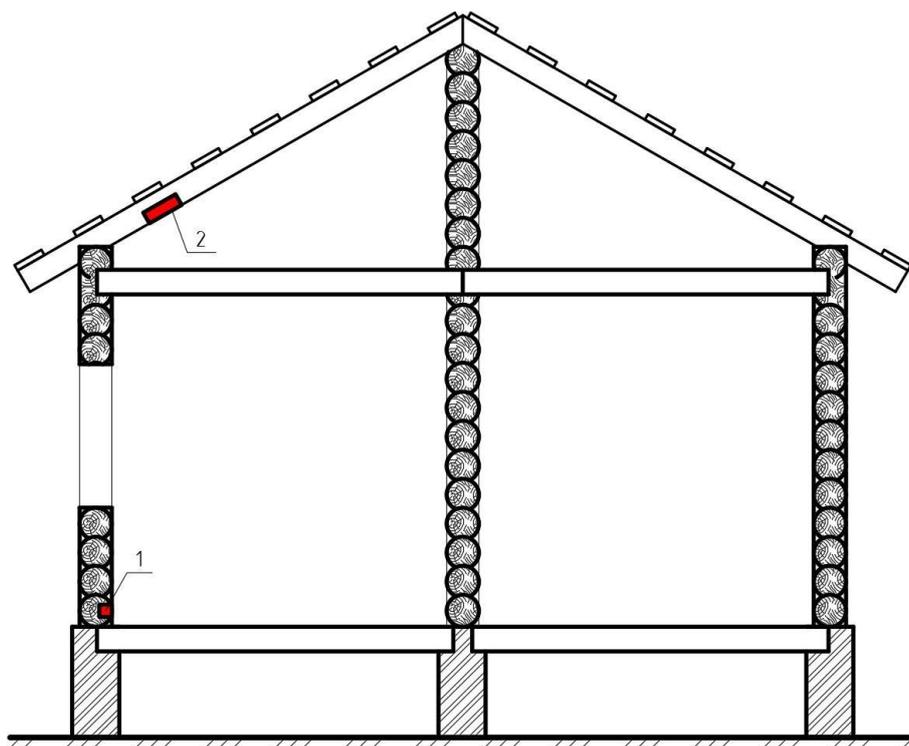
Образцы отобраны в одном климатическом районе из конструктивных элементов, находящихся в одинаковом напряженно-деформированном состоянии.

Заготовки для изготовления стандартных образцов отбирают из конструктивных элементов, не имеющих видимых дефектов и повреждений. Размеры заготовок составляют 20 × 20 × 300 мм.

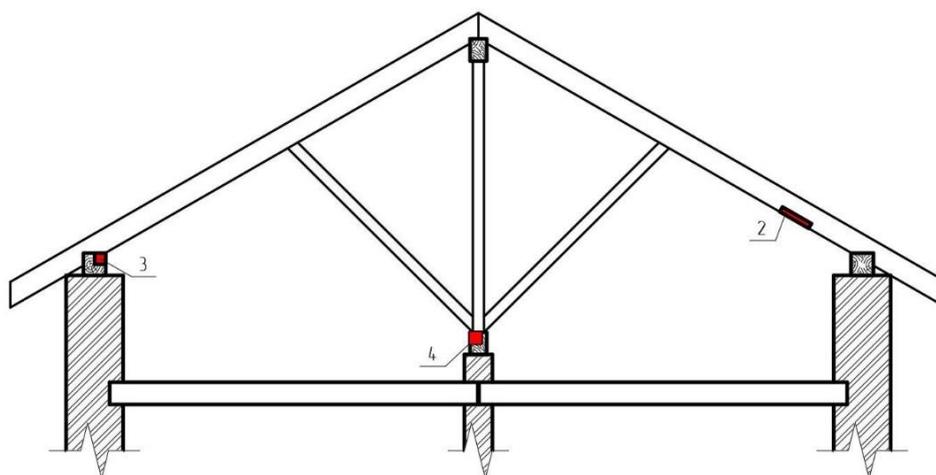
Отбор заготовок древесины из стропил производится в зоне с наименьшими нормальными напряжениями на расстоянии 0,5 м от места опирания на мауэрлат.

Образцы заготовок древесины из лежней отбирают со стороны крыши на расстоянии не менее 0,5 м от зоны опирания стоек стропильной системы.

Отбор заготовок древесины из мауэрлата производят со стороны крыши на расстоянии не менее 0,5 м от зоны опирания стропил стропильной системы.



а)



б)

Рис. 3.4. Схемы участков отбора проб древесины: 1 – бревенчатая стена; 2 – стропильная нога; 3 – мауэрлат; 4 – лежень

Образцы заготовок древесины из деревянных стен отбирают с внутренней стороны помещений на расстоянии 0,1 – 0,15 м от уровня пола первого этажа.

Взятые образцы упаковывают в бумажные конверты, которые заклеивают и маркируют с указанием мест взятия образца.

Отбор заготовок производился многофункциональным инструментом (реноватор), рабочая головка которого совершает колебательные движения, передаваемые эксцентриком от вала электродвигателя, и таким образом совершается резка древесины нужных размеров.

Учитывая тот факт, что при отборе заготовок ослабление сечения элементов не превышало 25 %, усиление ослабленных участков не производилось.

### 3.5.2. Изготовление образцов

Из выпиленных из конструкций заготовок в лабораторных условиях изготавливают малые стандартные образцы для испытаний древесины по соответствующим ГОСТам.

Образцы для испытания на сжатие вдоль волокон изготавливают в форме прямоугольной призмы с основанием  $20(a) \times 20(b)$  мм и длиной вдоль волокон 30 ( $h$ ) мм. Размеры  $a$  и  $b$  поперечного сечения образца измеряют на середине длины с погрешностью не более 0,1 мм (рис. 3.5).

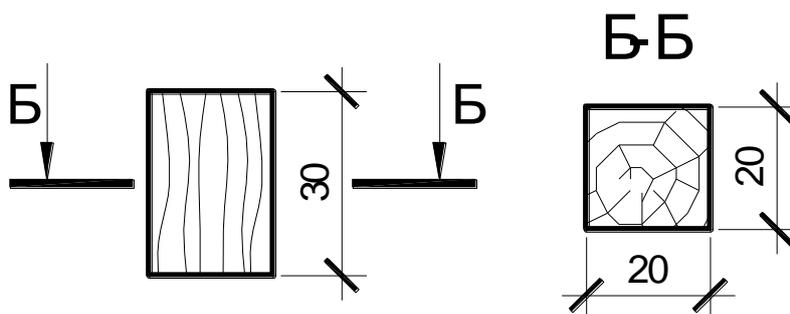


Рис. 3.5. Форма образцов для испытаний на сжатие вдоль волокон

Образцы для испытания на статический изгиб изготавливают в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением  $20 \times 20$  мм и длиной вдоль волокон 300 мм (рис. 3.6).

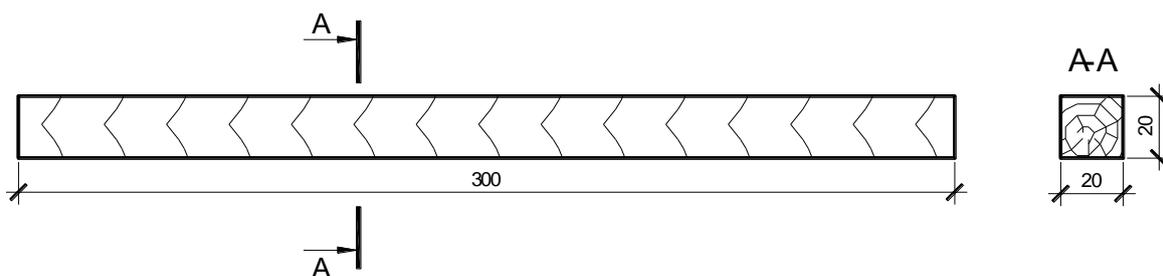


Рис. 3.6. Форма образцов для испытаний на статический изгиб

Образцы для определения модуля упругости при сжатии вдоль волокон изготавливают в форме прямоугольной призмы с основанием размерами  $20 \times 20$  мм и высотой вдоль волокон 60 мм (рис. 3.7).

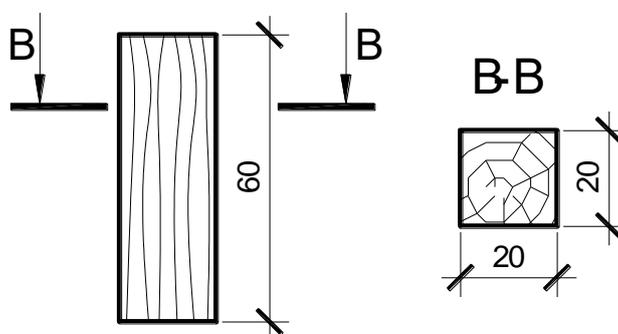


Рис. 3.7. Форма образцов для испытаний по определению модуля упругости

После изготовления образцов до момента проведения испытаний их необходимо выдерживать в эксикаторе.

### 3.5.3. Определение физико-механических характеристик образцов

По результатам комплекса экспериментальных исследований должны быть определены:

- плотность,  $\text{кг/м}^3$ ;
- влажность, %;
- максимальная (разрушающая) нагрузка, кН;
- максимальные напряжения, МПа;
- значения деформаций, мм;
- характер разрушения образцов древесины.

После проведения анализа полученных результатов определяют следующие прочностные и деформационные характеристики:

- модуль упругости древесины при сжатии вдоль волокон, МПа;
- предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа;
- предел прочности при статическом изгибе, МПа.

#### **3.5.4. Планирование экспериментального исследования**

Планирование эксперимента (англ. Experimental design techniques) – комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов. Основная цель планирования эксперимента — достижение максимальной точности измерений при минимальном количестве проведенных опытов и сохранении статистической достоверности результатов. В лаборатории, где проводят испытания, необходимо поддерживать температуру  $(20 \pm 2)$  °С и влажность воздуха  $(65 \pm 5)$  %.

Минимальное количество испытываемых образцов ( $n_{\min}$ ) при одностадийном (случайном и систематическом) отборе определяют по ГОСТ Р 58459 и вычисляют по формуле

$$n_{\min} = \frac{V^2 \cdot t_{\gamma}^2}{P_{\gamma}^2}, \quad (3.28)$$

где  $V$  – коэффициент вариации свойства древесины;  $t_{\gamma}$  – квантиль распределения Стьюдента;  $P_{\gamma}$  – относительная точность определения выборочного среднего с доверительной вероятностью  $\gamma$ ; %;  $\gamma$  – требуемая доверительная вероятность.

Относительную точность определения выборочного среднего принимают 5 % при доверительной вероятности 0,95.

Коэффициент вариации принимается согласно ГОСТ 16483.0 и составляет:

- для предела прочности при сжатии вдоль волокон – 13 %;
- предела прочности при статическом изгибе – 15 %;
- модуля упругости – 20 %.

В расчетах квантиль распределения Стьюдента ( $t_{\gamma}$ ) принимают с учетом предполагаемого количества единиц отбора. При отличии расчетной величины « $p$ » от предполагаемой расчет повторяют до тех пор, пока различие между ними будет не более 1.

Количество образцов для проведения испытаний для каждой исследуемой строительной конструкции:

- при определении предела прочности при сжатии вдоль волокон – 29 шт.;
- при определении предела прочности при статическом изгибе – 36 шт.;
- при определении модуля упругости при сжатии вдоль волокон – 29 шт.

### **3.5.5. Методика проведения экспериментального исследования**

#### ***Определение плотности образцов***

Для определения плотности при влажности в момент испытания массу образцов определяют с погрешностью не более 0,01 г. Размеры поперечного сечения и длину измеряют с погрешностью не более 0,1 мм по осям симметрии образцов.

Плотность каждого образца  $\rho_w$  при влажности  $W$  в момент испытания вычисляют в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический сантиметр по формуле

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_w}{V_w}, \quad (3.29)$$

где  $m_w$  – масса образца при влажности  $W$ , кг;  $a_w \cdot b_w \cdot l_w$  – размеры образца при влажности  $W$ , м;  $V_w$  – объем образца при влажности  $W$ , м<sup>3</sup>. Результат вычисляют и округляют до 5 кг/м<sup>3</sup>.

#### ***Определение влажности***

Определение влажности производится контактными приборами (например, Testo-616) согласно ГОСТ 16483.7. Измеренные результаты актуальны на 5 см в глубину и соответствуют содержанию влаги в процентном соотношении веса материала в отношении к весу сухого продукта.

#### ***Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон***

Предел прочности определяют по ГОСТ 16483.10. Образец помещают в приспособление для испытания на сжатие. Нагрузку на образец передают через пуансон. Образец нагружают равномерно с постоянной скоростью нагружения или постоянной скоростью перемещения нагружающей головки машины. Скорость должна быть такой, чтобы образец разрушился через  $(1,0 \pm 0,5)$  мин после начала нагружения. Испытание

производят при скорости перемещения нагружающей головки испытательной машины 4 мм/мин при условии достижения предела прочности при сжатии вдоль волокон в указанный интервал времени. Максимальную нагрузку  $P$  измеряют с погрешностью не более 1 %. После испытаний определяют влажность образцов.

Так как образцы должны находиться до испытания в условиях, исключающих изменение их начальной влажности, то для этих целей был применен эксикатор.

Предел прочности образца с влажностью в момент испытания ( $\sigma_w$ ) вычисляют по формуле, МПа,

$$\sigma_w = \frac{P_{\text{макс}}}{ab}, \quad (3.30)$$

где  $P_{\text{макс}}$  – максимальная нагрузка, Н;  $a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения образца, мм.

Результат вычисляют и округляют до 1 МПа.

Предел прочности пересчитывают на влажность 12 % ( $\sigma_{12}$ ) по формуле, МПа,

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma_w}{K_{12}^w}, \quad (3.31)$$

где  $K_{12}^w$  – коэффициент пересчета, определяемый по таблице при известной плотности древесины.

Статистическую обработку опытных данных выполняют по ГОСТ 16483.0. Результаты испытаний и расчетов заносят в протокол, в котором указывают также вид испытания, направление приложения нагрузки, температуру и влажность воздуха в лаборатории, породу древесины и сведения об отборе образцов.

### ***Определение предела прочности при статическом изгибе***

Предел прочности определяют по ГОСТ 16483.3. Образец помещают в машину так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям (изгиб тангентальный), и нагружают.

Образец нагружают равномерно с постоянной скоростью нагружения или постоянной скоростью перемещения активного захвата машины. Скорость должна быть такой, чтобы образец разрушился через  $(1,5 \pm 0,5)$  мин после начала нагружения. При использовании машины с

электромеханическим приводом испытания проводят при скорости перемещения нагружающей головки испытательной машины 4 мм/мин.

Испытание продолжают до разрушения образца. Максимальную нагрузку определяют с погрешностью не более 1 %.

Предел прочности образца с влажностью в момент испытания ( $\sigma_w$ ) вычисляют по формуле, МПа,

$$\sigma_w = \frac{3 \cdot P_{\text{макс}} \cdot l}{2b \cdot h^2}, \quad (3.32)$$

где  $P_{\text{макс}}$  – максимальная нагрузка, Н;  $l$  – расстояние между центрами опор, мм;  $b$  – ширина образца, мм;  $h$  – высота образца, мм.

Результат вычисляют и округляют до 1 МПа. Предел прочности пересчитывают на влажность 12 % ( $\sigma_{12}$ ) в мегапаскалях по формуле (3.31). После испытания определяют влажность образцов.

### ***Определение модуля упругости при сжатии вдоль волокон***

Модуль упругости определяют по ГОСТ 16483.24. Для измерения деформации на боковой стороне образцов выполняют разметку, устанавливают видеоэкстензометр. Усилие при испытании должно совпадать с продольной геометрической осью образца.

Каждый образец подвергают шестикратному нагружению от 1000 до 4000 Н. Нагружение производят равномерно со средней скоростью  $(5000 \pm 1000)$  Н/мин.

Первоначально образец нагружают до 1000 Н и отсчитывают показания тензометра, затем нагружают до верхнего предела нагружения 4000 Н и вновь отсчитывают показания по тензометру. После этого образец плавно разгружают несколько ниже нижнего предела нагружения и вновь нагружают в той же последовательности.

Модуль упругости  $E_w$  образцов с влажностью  $w$  в момент испытания вычисляют с точностью до  $0,5 \cdot 10^8$  Па по формуле

$$E_w = \frac{P \cdot l}{ab \cdot \Delta l}, \quad (3.33)$$

где  $P$  – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами нагружения, Н;  $l$  – база тензометра, м;  $a$  и  $b$  – размеры поперечного сечения образца, м;  $\Delta l$  – средняя величина перемещения, соответствующая нагрузке  $p$ , м.

Модуль упругости  $E_w$  образцов с влажностью, отличающейся от 12 % больше чем на  $\pm 1$  % в пределах от 8 до 20 %, пересчитывают к влажности 12 % с точностью до  $0,5 \cdot 10^8$  Па по выражению

$$E_{12} = \frac{E_w}{1 - \alpha(w - 12)}, \quad (3.34)$$

где  $E_w$  – модуль упругости образца с влажностью  $W$  в момент испытания, Па;  $\alpha$  – поправочный коэффициент, равный 0,012 для всех пород древесины;  $w$  – влажность образца в момент испытания, %.

### 3.5.6. Оборудование и приборы для проведения экспериментального исследования

Испытательное оборудование и средства измерения, используемые при испытаниях, сведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8. Испытательное оборудование и средства измерения

№ п/п	Наименование СИ, ИО и ВО	Марка (пример)
1	Измерители перемещений (деформаций) бесконтактные	M-VIEW970-1
2	Измеритель влажности	Testo 616
3	Штангенциркули нониусные и цифровые; нониусный с глубиномером 0 – 250 мм	Энкор
4	Весы электронные	MWP-3000
5	Машины испытательные универсальные	РЭМ-100-А-1
6	Шкаф сушильный лабораторный	ШС-100-01

Электромеханические разрывные машины предназначены для создания нормированного значения силы при проведении физико-механических испытаний образцов из различных материалов и используются для проведения испытаний на сжатие вдоль волокон, статический изгиб, а также для определения модуля упругости при сжатии вдоль волокон.

Прибор для измерения влажности показывает содержание влаги в процентном соотношении веса материала в отношении к весу сухого продукта.

Лабораторные весы используются для взвешивания образцов.

Оптические бесконтактные видеоэкстензометры предназначены для измерений продольного и поперечного перемещения (деформации) образцов и изделий из различных материалов при испытаниях на прочность и растяжение.

Сушильные лабораторные шкафы служат для температурной обработки различных деталей, элементов, продуктов на воздействие повышенных температур с равномерной точностью их поддержания.

Штангенциркули с цифровым отсчетным устройством используются для измерения линейных размеров образцов.

### ***3.5.7. Нормативные физико-механические характеристики древесины***

Все нормативные физико-механические характеристики принимаются по СП 64.13330 [6].

Плотность:

– нормативное значение плотности (5%-ный квантиль) для 2-го класса (К24) древесины – 380 кг/м<sup>3</sup> (табл. В.3 прил. В);

– плотность породы древесины сосны для классов условий эксплуатации 1А, 1 и 2 – 500 кг/м<sup>3</sup> (согласно табл. Г.1 прил. Г).

Влажность:

– эксплуатационная влажность древесины для классов условий эксплуатации 1А, 1 и 2 – не более 8, 10 и 12 % соответственно (табл. 1);

– эксплуатационная влажность древесины для классов условий эксплуатации 1А, 1 и 2 не должна превышать 12 % (табл. А2 прил. А).

Прочность древесины на сжатие вдоль волокон:

– для 2-го класса (К24) древесины: нормативное значение прочности 23 МПа, временная прочность (среднее значение распределения) – 31 МПа (табл. В.1 прил. В);

– для чистой древесины: нормативное значение прочности 33 МПа, временная прочность (среднее значение распределения) – 44 МПа (табл. В.1 прил. В).

Прочность древесины на статический изгиб:

– для 2-го класса (К24) древесины: нормативное значение прочности – 27 МПа, временная прочность (среднее значение распределения) – 37,5 МПа (табл. В.1 прил. В);

– для чистой древесины: нормативное значение прочности – 57 МПа, временная прочность (среднее значение распределения) – 80 МПа (табл. В.1 прил. В).

Модуль упругости:

– нормативное значение (5%-ный квартиль) модуля упругости при изгибе – 9400 ГПа, среднее значение – 10600 ГПа (табл. В.4 прил. В).

### ***3.5.8. Характер разрушения образцов древесины***

Разрушение древесины при испытаниях на сжатие вдоль волокон сопровождается появлением характерной складки, образуемой местным изломом волокон. Деформация выражается в небольшом укорочении образца. Разрушение начинается с продольного изгиба отдельных волокон, которое вызывает сдвиг одной части образца относительно другой. Характер разрушения – пластический.

Разрушение образцов древесины при испытаниях на изгиб начинается в сжатой зоне, видимое разрушение начинается в растянутой зоне и выражается в разрыве крайних волокон. Верхние слои древесины испытывают напряжение сжатия, а нижние – растяжения вдоль волокон. Примерно посередине высоты элемента проходит плоскость, в которой нет ни напряжения сжатия, ни напряжения растяжения. Эту плоскость называют нейтральной; в ней возникают максимальные касательные напряжения. Нейтральная ось в изгибаемом деревянном элементе после достижения в сжатой зоне упругопластического состояния начинает смещаться в сторону растянутых волокон. Характер разрушения зацепистый.

Разрушение деревянных образцов при определении модуля упругости не происходит, так как испытания проходят в упругой стадии и разрушение в процессе испытания не возникает.

### ***3.5.9. Статистическая обработка данных***

Согласно ГОСТ 16483.0 по результатам испытаний вычисляют следующие статистические характеристики:

– выборочное среднее арифметическое отклонение  $\bar{R}$ ,  $\bar{X}$

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{n}; \quad (3.35)$$

– выборочное среднее квадратическое отклонение  $\bar{S}$

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{(R_i - \bar{R})^2}{n-1}}; \quad (3.36)$$

– среднюю ошибку выборочного среднего арифметического  $\bar{m}$

$$\bar{m} = \frac{\bar{S}}{\sqrt{n}}; \quad (3.37)$$

– выборочный коэффициент вариации  $v$

$$v = \frac{\bar{S}}{\bar{R}}; \quad (3.38)$$

– относительную точность определения выборочного среднего  $p$

$$p = \frac{\bar{m}}{\bar{R}} 100 \%. \quad (3.39)$$

Окончательно вычисляют  $R_n$  – кратковременное сопротивление древесины чистых образцов и  $X_n$  – нормативное значение модуля упругости образцов при статическом обеспечении 0,95.

### Вопросы для самоконтроля

1. С какой периодичностью проводят общие осмотры конструктивных элементов здания?
2. Как вычисляют средневзвешенный процент износа здания в целом?
3. Какие методы устранения неисправностей существуют для зданий и конструктивных элементов, физический износ которых превышает 60 %?
4. Какая формула может быть применена для определения износа деревянных конструкций во времени приближенным способом?
5. Перечислите дефекты деревянных конструкций, вызванные ошибками проектирования.
6. Как определяется относительная надежность конструкции?
7. Какие выделяют этапы жизненного цикла деревянных конструкций?
8. Какие места выбираются для отбора заготовок для изготовления образцов?
9. В чем заключается планирование эксперимента?
10. Как определяются физико-механические свойства древесины?

## **Глава 4. РЕМОНТ И УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **4.1. Состав проекта усиления строительных конструкций из древесины**

Деревянные конструкции могут усиливаться после разработки проекта по усилению, в основу которого входят следующие основные принципы [7]:

– усиленные деревянные конструкции должны выполнять полностью либо частично свои прежние функции. При частичном выполнении усиленной конструкцией своих первоначальных функций в проекте должен быть решен вопрос передачи части прежних функций на другие существующие или новые конструкции;

– усиленные деревянные конструкции должны удовлетворять по несущей способности требованиям действующих строительных норм и правил: СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия» и СП 64.13330 «Деревянные конструкции». Целесообразность усиления деревянных конструкций и выбор вариантов усиления должны быть экономически обоснованы.

Для разработки проекта по усилению при большом числе одинаковых конструкций рекомендуется применять вероятностно-статистический подход. Однотипные деревянные конструкции с характерными для них дефектами целесообразно усиливать единообразными методами.

Составление проекта усиления является первым этапом работ по усилению конструкции. Проект выполняют на основании данных ведомостей дефектов, составленных в процессе обследования конструкции и сопровождаемых их точными обмерами. Прочность древесины бездефектных конструкций рекомендуется определять неразрушающим электрофизическим или механическим методом, а у дефектных конструкций прочность должна быть определена путем испытания стандартных образцов, вырезанных из ненагруженных частей (элементов) конструкций. Обычно бывает достаточно провести стандартные испытания образцов размерами 20 × 20 × 30 мм на сжатие вдоль волокон. Для устранения повреждений от гнилостной деструкции должны

быть отобраны образцы древесины размерами  $15 \times 10 \times 5$  мм с сохранением грибковых образований для последующего лабораторного микологического анализа.

Проект усиления разрабатывается с учетом многих исходных данных: рабочих чертежей строительных конструкций и исполнительных схем; отклонений фактических размеров сечений и узлов от проектных решений; инженерно- и гидрогеологических условий площадки; геодезической съемки здания для определения осадок, прогибов, кренов, смещений и тому подобного; сроков эксплуатации конструкций, а также величины и характера технологических нагрузок; физико-механических характеристик материалов каждого конструктивного элемента; характера технологических процессов помещения реконструируемого или ремонтируемого объекта; интенсивности и распределения нагрузок; прогнозов изменений гидрологического режима в процессе ремонта или реконструкции и последующей эксплуатации; информации об имеющихся местах дефектах строительных конструкций и мероприятиях по их устранению.

К последним относятся повышенные прогибы и перенапряжения, нарушение соединений в сопряжениях элементов конструкций, плохая гидроизоляция между каменными и деревянными конструкциями, гниение, коррозия металла и бетона, отклонение от геометрии, недопустимое раскрытие трещин и т. п.

Проект усиления должен учитывать все особенности эксплуатации конструкций, содержать рабочие чертежи деталей усиления и указания по производству работ. В проекте должны быть указания по антисептированию древесины конструкции и рекомендации по их эксплуатации с указанием метода антипирирования, а также предусмотрены мероприятия по технике безопасности при производстве работ по усилению конструкций.

## **4.2. Производство работ по усилению**

Разгрузка деревянных конструкций является первым этапом производства работ по усилению [16]. При этом исключается опасность обрушения, обеспечивается необходимая безопасность работ по усилению и включение в работу элементов усиления наравне с основными элементами конструкций после их обратного нагружения. Разгрузку в

большинстве случаев производят путем подпирания или вывешивания конструкций временными стойками из бревен или брусьев при помощи клиньев (рис. 4.1) или домкратов, на которые передается вся нагрузка, действующая на конструкцию, включая собственную массу. При подпирании конструкции вывешиваются до такого положения, когда их прогиб исчезает [2].

При усилении опорных частей балок из цельной древесины их вывешивание рекомендуется осуществлять вблизи опор.

При вывешивании дефектных ферм, арок, балок двутаврового сечения с перекрестной стенкой на гвоздях и составных балок они должны быть подперты рядом стоек. Количество и размеры сечений стоек зависят от пролёта и нагрузки на конструкции и определяются по расчету с учетом собственной массы дефектных конструкций.

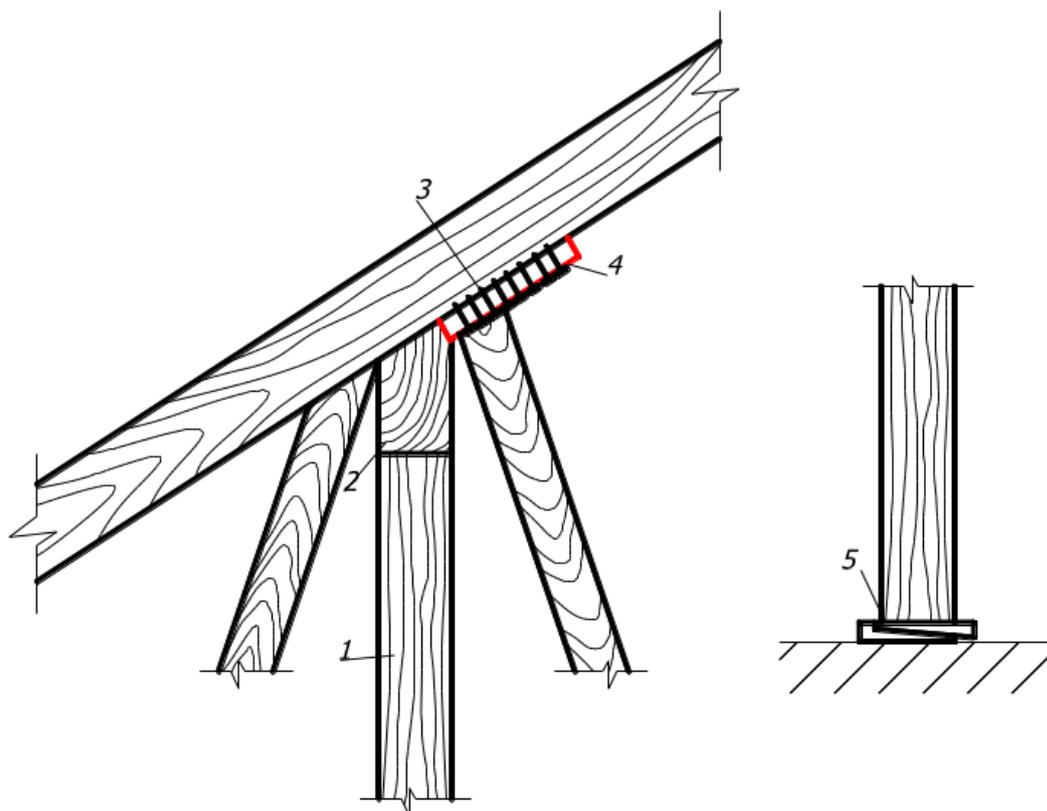


Рис. 4.1. Вывешивание конструкции: 1 – временные стойки; 2 – поперечный прогон; 3 – гвозди; 4 – подкладка; 5 – клинья из твердой древесины

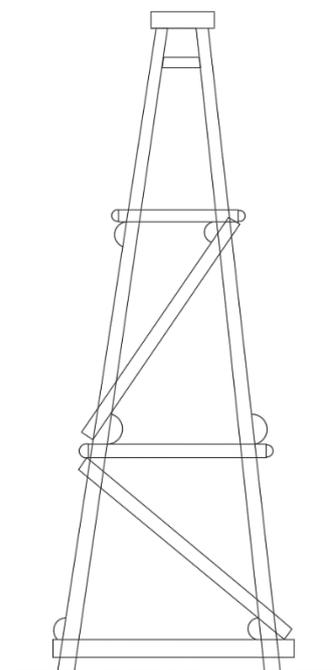
Фермы, арки и рамы рекомендуется подпирать стойками двойного сечения с ветвями, расположенными по обе стороны конструк-

ции, в фермах близ узлов верхнего пояса. Стойки целесообразно устанавливать на парные, горизонтально положенные широкие клинья из твердой древесины, встречная забивка которых позволяет подпирать стойки вместе с конструкциями. При необходимости подъема конструкции на значительную высоту рекомендуется применять винтовые домкраты. В некоторых случаях для временного взвешивания могут быть использованы в качестве временных опор-стоек мостовые краны и другие технические устройства, расположенные в здании.

Выбор материала и конструкции временных опор-стоек зависит от отметки нижнего пояса и вида усиливаемой конструкции. Стойки-подпорки могут быть выполнены из бревен или брусьев. Такого вида стойки принимаются при отметке конструкции до 5 м. При больших отметках рекомендуется применять опоры башенного типа (рис. 4.2). Если такие опоры подводятся под нижний пояс конструкции, то их устанавливают в месте нахождения ребер жесткости или узла решетки с обязательным раскреплением усиливаемой конструкции из плоскости путем установки временных поперечных связей.

В тех случаях, когда покрытие либо чердачное перекрытие имеет слой тяжелого утеплителя, например шлака, который по проекту усиления должен быть заменен на более легкий, рекомендуется производить разгрузку дефектных конструкций, т. е. снятие утеплителя до начала усиления дефектных конструкций. В связи с этим необходимо отметить, что усиление может выполняться при полном или частичном разгрузке дефектной конструкции, а при некоторых схемах усиления – без разгрузки.

После окончания работ по усилению стойки убирают, причем снятие нагрузок необходимо проводить без рывков и ударов. При большом количестве временных стоек их демонтаж рекомендуется выполнять симметрично от центра пролета усиленной конструкции к опорам.



*Рис. 4.2. Стойка башенного типа из деревянных элементов*

Конструкции усиления в каждом отдельном случае имеют индивидуальный характер и определяются типом и размерами усиливаемой конструкции и причиной, вызвавшей необходимость усиления.

### **4.3. Классификация методов усиления деревянных конструкций**

Деревянные конструкции можно усиливать как в целом, так и их отдельные элементы. Выбор конструктивного метода усиления зависит от ряда факторов: задачи усиления; состояния здания в целом и деревянной конструкции в частности; условий эксплуатации; наличия достаточного пространства и площади для размещения элементов усиления и т. п.

Методы усиления деревянных конструкций классифицируются по различным признакам [8].

По назначению методы усиления деревянной конструкции подразделяются на две группы: первая группа – временное усиление; вторая группа – стационарное усиление. Временное усиление несущих конструкций или их отдельных элементов либо здания в целом выполняется, как правило, в предаварийной или аварийной ситуации с последующей заменой его на стационарное, используемое в дальнейшем на протяжении всего срока эксплуатации здания или сооружения.

По влиянию элементов усиления на схему работы усиливаемой конструкции методы усиления также подразделяются на две группы:

- без изменения прежней схемы работы деревянных конструкций;
- с изменением прежней схемы работы деревянных конструкций.

#### ***4.3.1. Усиление конструкций без изменения схемы работы***

В зависимости от вида дефектов усиливать деревянные конструкции без изменения схемы их работы рекомендуется различными конструктивными методами:

1. При перенапряжении отдельных элементов и конструкций в целом усиление можно выполнять следующими методами:

- установкой дополнительного числа крепежных соединений: болтов, гвоздей, шурупов и т. п. (рис. 4.3).

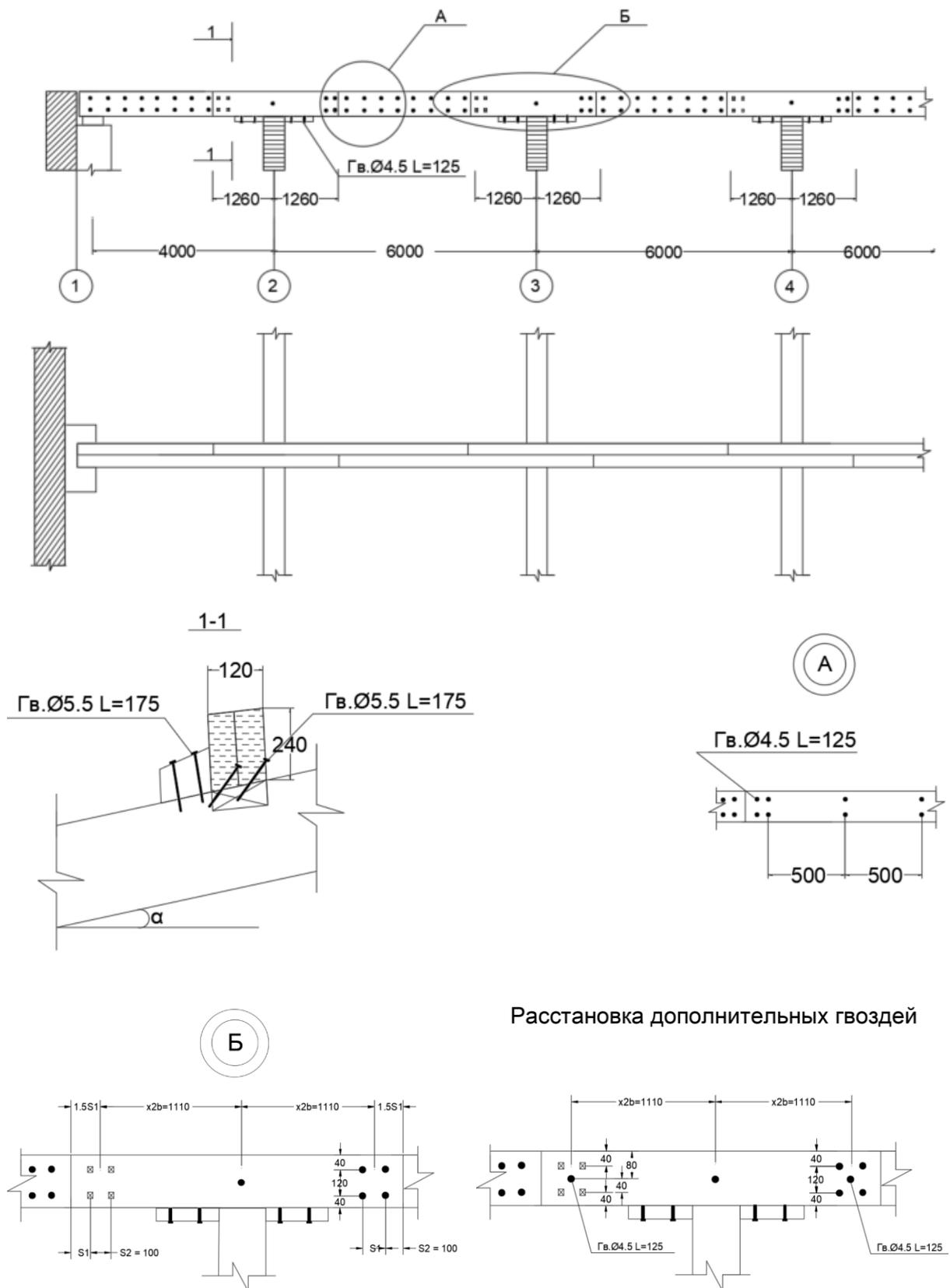


Рис. 4.3. Усиление стыков спаренных неразрезных прогонов за счет установки дополнительных гвоздей

– Установкой дополнительного числа самостоятельно работающих конструкций, разгружающих усиливаемую конструкцию (рис. 4.4).

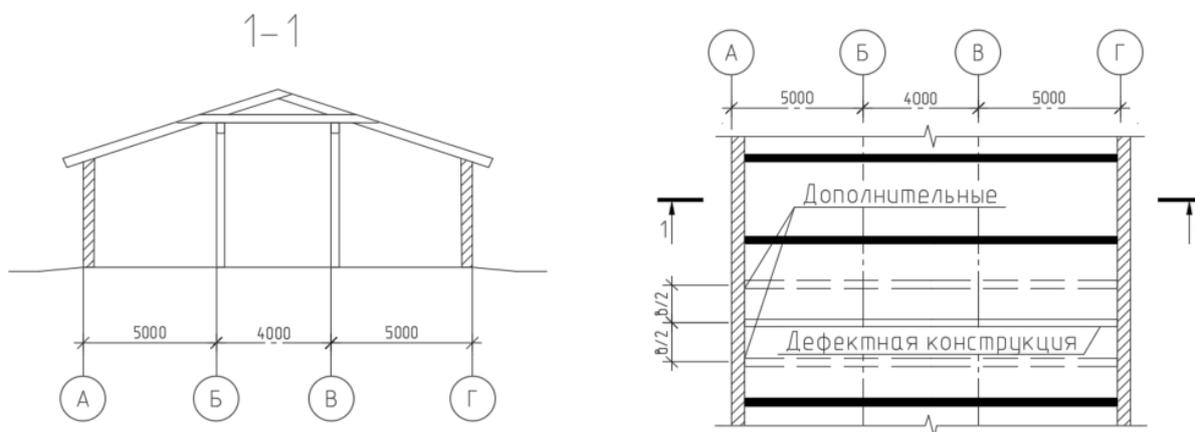


Рис. 4.4. Усиление за счет дополнительной установки самостоятельно работающих стропильных ног, разгружающих дефектную конструкцию

– Заменой или усилением дефектного элемента деревянной конструкции, работающего с перенапряжением, при этом детали усиления могут быть выполнены из металла или древесины (рис. 4.5).

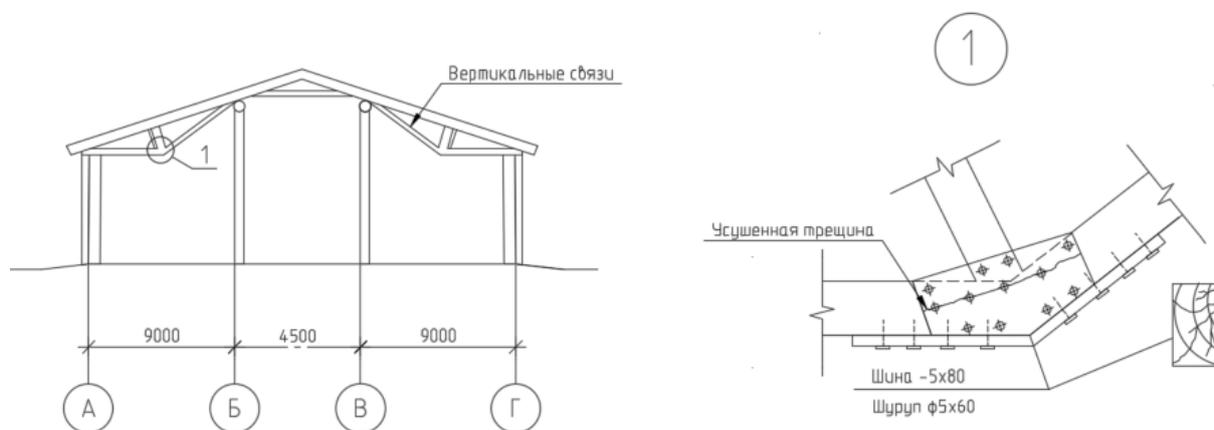


Рис. 4.5. Замена дефектных накладок металлическими шинами на шурупах

2. При наличии усушечных трещин, влияющих на несущую способность конструкции, усиление выполняется следующими методами [15]:

– усилением конструкций из цельной древесины, имеющих усушечные трещины, клеевыми составами для обеспечения монолитности,

а клеештыревыми соединениями для восприятия стыковых или растягивающих усилий, действующих поперек волокон (рис. 4.6).

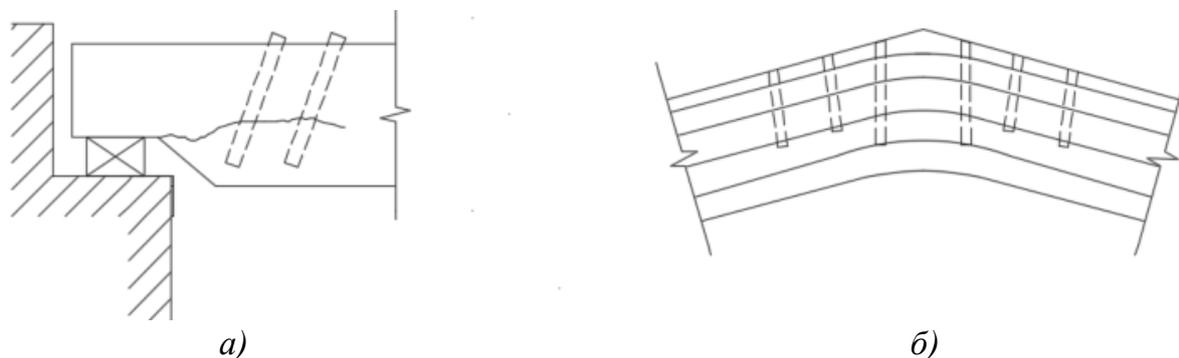


Рис. 4.6. Усиление балок вклеенными стержнями: а – для восприятия сдвиговых усилий; б – для восприятия растягивающих усилий

– Усилением конструкций с горизонтальными усушечными или силовыми трещинами стяжными болтами или хомутами для восприятия растягивающих усилий, действующих поперек волокон в местах глубоких подрезок у опор балок (рис. 4.7).

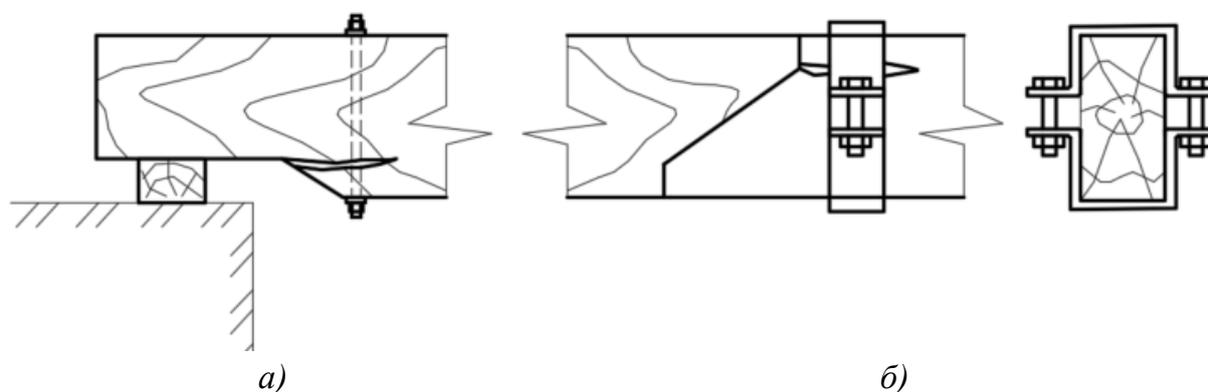
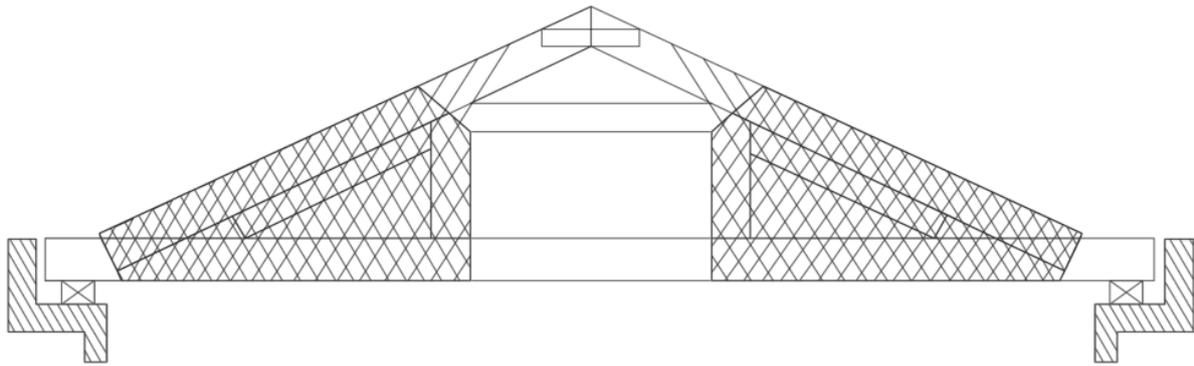


Рис. 4.7. Усиление балок: а – стяжными болтами; б – хомутами

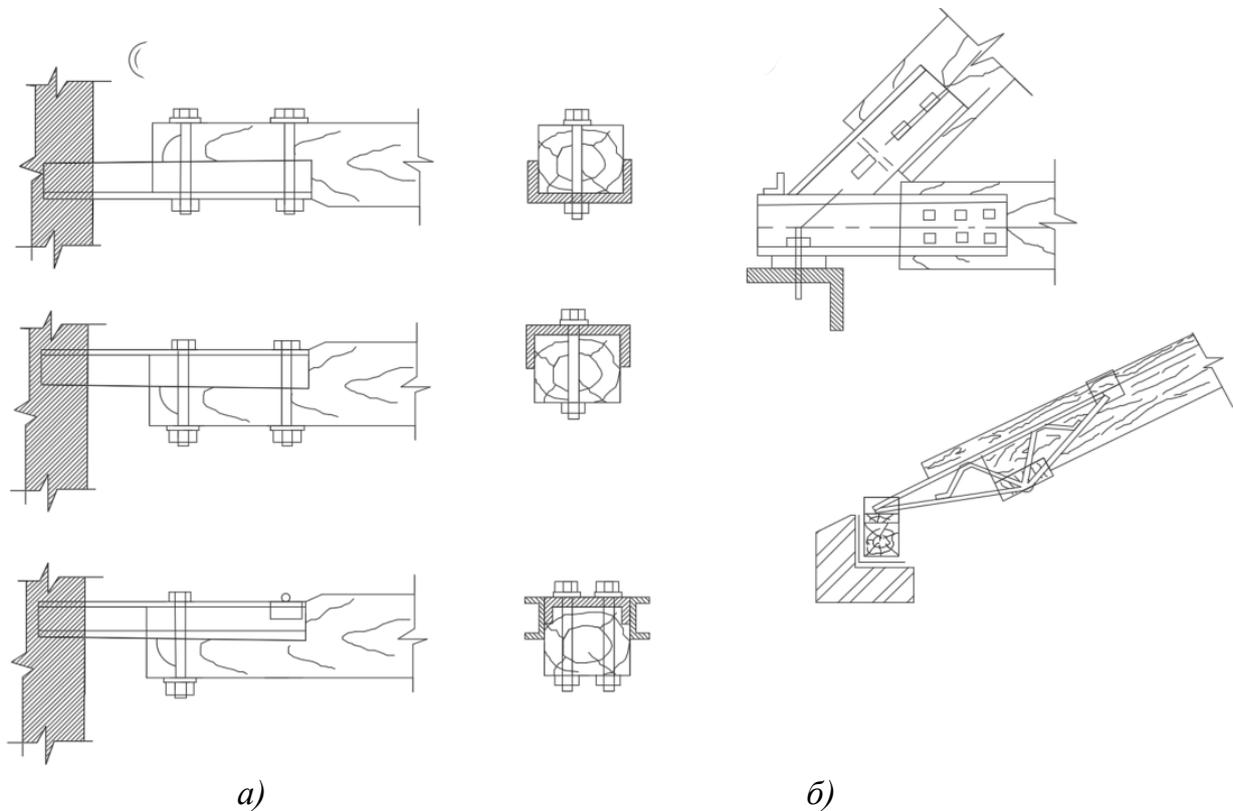
– Усилением конструкций с глубокими и усушечными трещинами, работающих с перенапряжениями и сильно деформированных, накладками из досок на механических связях (гвоздях, шурупах или болтах), а сквозные конструкции с большими поперечными сечениями усиливаются обшивками в виде двойной перекрестной стенки или обшивкой из листовых древесных материалов – фанеры и т. п. (рис. 4.8).



*Рис. 4.8. Усиление треугольной фермы обшивками в виде двойной проектной дощатой стенки на гвоздях*

3. При поражении гниением древесины конструкций применяются следующие методы усиления:

- усиление деревянных конструкций или их элементов протезами (рис. 4.9);
- замена дефектных конструкций новыми.



*Рис. 4.9. Усиление деревянных конструкций протезами: а – балок; б – стропил*

Протез представляет собой специальную конструкцию, включаемую в состав усиливаемой конструкции для замены в работе дефектного участка или узла или какого-либо из ее элементов. Протезы выполняются из металла, полимербетона и других материалов. Некоторые из конструкций протезов, например прутковые, стандартизированы по пролету и погонной нагрузке усиливаемых балок перекрытий и наклонных стропильных ног (табл. 4.1 и 4.2).

Конструкция прутковых металлических протезов приведена на рис. 4.10. Размеры элементов прутковых протезов (двух концевых и трех промежуточных), типизированных для различных случаев нагрузки и пролетов балочных конструкций, приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.1. Подбор номера концевого симметричного протеза по погонной нагрузке и пролету балки

Длина пролета балки в свету, м	Нормативная нагрузка на 1 пог. м балки, кН (кгс)		
	До 3 (300)	3 – 3,5 (300 – 350)	3,5 – 4 (350 – 400)
До 5	КП-1	КП-1	КП-1
5,5 – 6	КП-1	КП-1	КП-1
6 – 6,5	КП-1	КП-1	КП-2
6,5 – 7	КП-1	КП-2	КП-2
7 – 7,5	КП-1	КП-2	КП-2
7,5 – 8	КП-2	КП-2	КП-2
8 – 8,5	КП-2	КП-2	КП-2

Таблица 4.2. Подбор номера промежуточного протеза по погонной нагрузке к пролету балки (при расстоянии от оси протеза до опоры балки 2 м)

Длина пролета балки в свету, м	Нормативная нагрузка на 1 пог. м балки, кН (кгс)		
	До 3 (300)	3 – 3,5 (300 – 350)	3,5 – 4 (350 – 400)
До 5	ПП-1	ПП-1	ПП-1
5,5 – 6	ПП-1	ПП-1	ПП-2
6 – 6,5	ПП-1	ПП-2	ПП-2
6,5 – 7	ПП-2	ПП-2	ПП-2
7 – 7,5	ПП-2	ПП-3	ПП-3
7,5 – 8	ПП-2	ПП-3	ПП-3
8 – 8,5	ПП-2	ПП-3	ПП-3

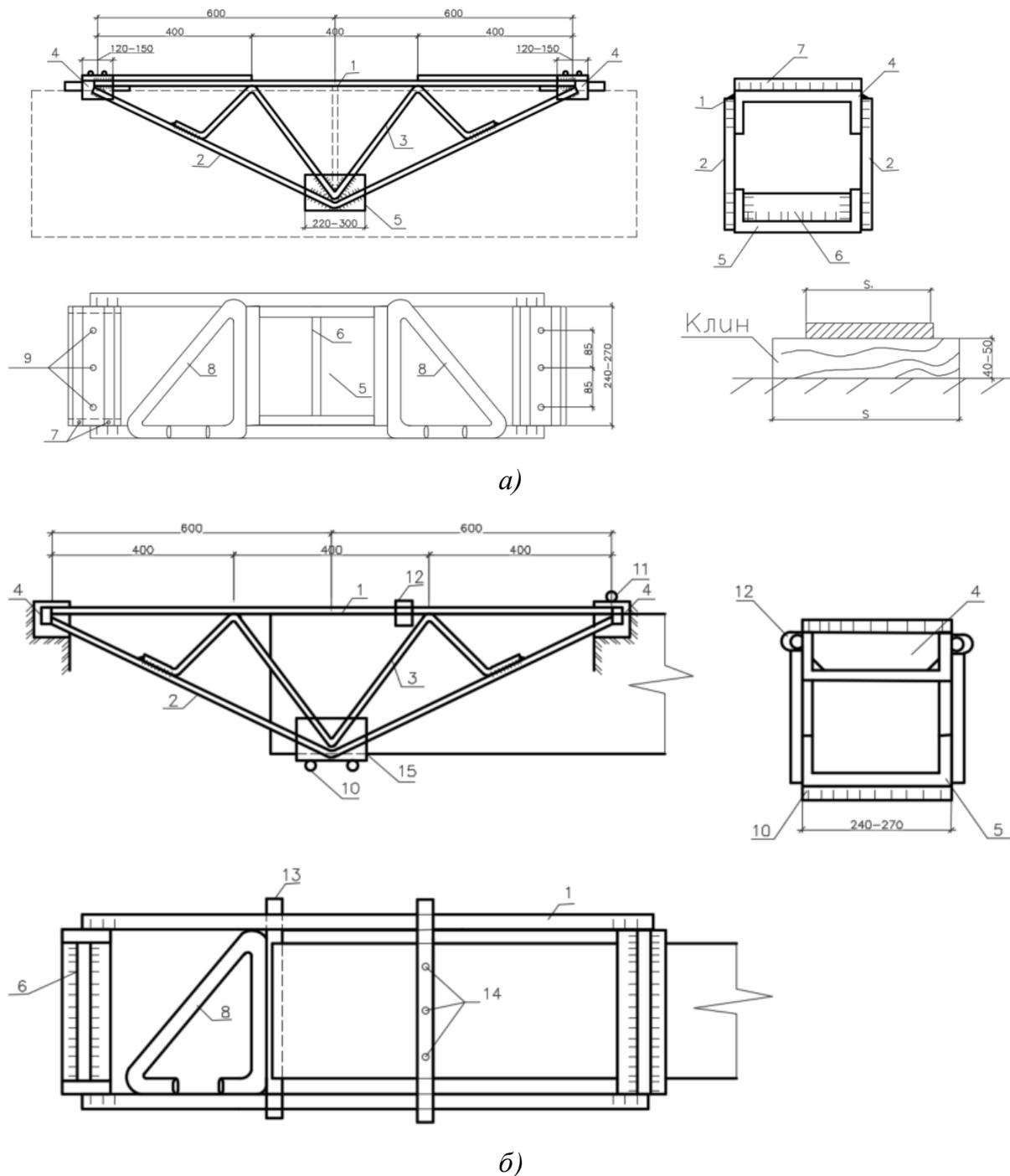


Рис. 4.10. Прутковые металлические протезы для усиления концов деревянных балок перекрытий: а – промежуточного типа ПП; б – концевого типа КП; 1 – верхний пояс; 2 – нижний пояс; 3 – раскосы; 4 – верхние опорные планки; 5 – нижняя опорная планка; 6 – ребро жесткости; 7 – круглые стальные стержни; 8 – раскос верхнего пояса; 9 – три отверстия  $\varnothing 5,5$  мм для забивки гвоздей  $5 \times 125$  мм; 10 – элемент жесткости нижнего пояса; 11 – то же, верхнего пояса; 12 – передвижная планка; 13 – положение планки при установке протеза; 14 – гвозди  $4 \times 80$  мм; 15 – косынка  $120 \times 150$  мм

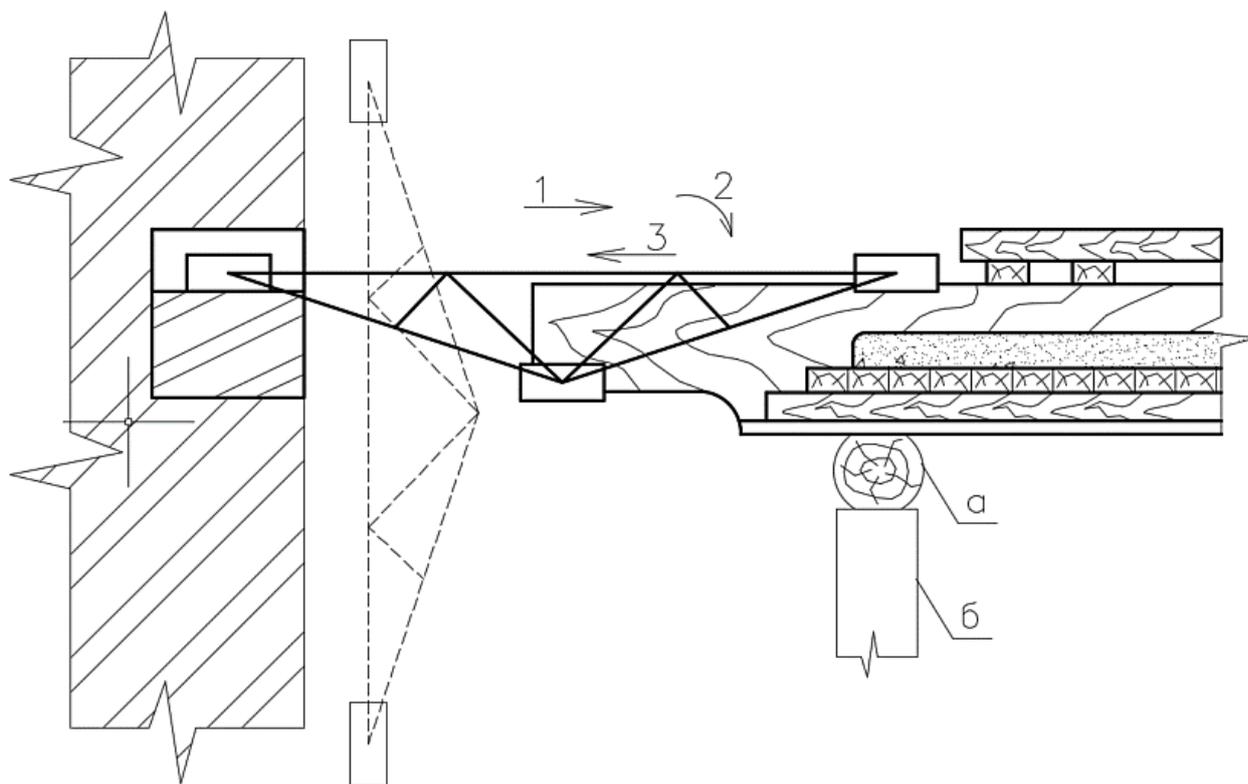
Таблица 4.3. Сечение элементов прутковых металлических протезов в зависимости от параметров укрепляемых ими балок

Марка протеза	Параметр укрепляемой балки			Высота протеза, м	Сечение элементов							
	Нагрузка на балку, кН/м (кгс/м)	Пролет в свету, м	Расстояние от оси опоры, м		1	2	3	4	5	6	7	8
КП-1	3,5 (350)	До 6,5	–	200	16	12	10	N24 120	N24 120	–	16	10
	3,5 (350)	6,6 – 7,5	–	250	16	14	10	N24 140	N24 140	–	16	10
КП-2	5 (500)	До 6,5	До 1,5	250	20	18	10	N24 140	N24 220	10 × 60	–	10
	3,5 (350)	> 6,5										
П	5 (500)	> 6,5	> 1									
ПП-2	3,5 (350)	6,5	1 – 2,5	250	22	20	10	N24 140	N24 220	10 × 60	–	10
ПП-3	3,5 (350)	6,5 – 7,5	До 1,6	300	20	18	10	N24 140	N24 220	10 × 60	–	10

### ***Способ установки концевых протезов***

Вдоль стены, где предполагается установить концевой протез, перекрытие вывешивается посредством постановки временных опор (поперек балок) на расстояние 1 – 1,5 м от стен, состоящих из прогона и стоек, подклиненных под балками перекрытия (рис. 4.11).

Участки перекрытия в местах расположения поврежденных концов балок разбирают снизу на ширину около 75 см (от стены). Сверху перекрытие разбирают на ширину до 1,5 м. После этого поврежденный участок балки отпиливают.



*Рис. 4.11. Установка концевого протеза: а – временный прогон; б – временная стойка; 1, 2, 3 – последовательность операций*

Закончив эту работу, концевой протез заводят в перекрытие и в том же положении надвигают его на усиливаемую балку, затем поворачивают протез на  $90^\circ$  (положение 1 и 2) и заводят его в гнездо стены (положение 3). К усиливаемой балке протез прикрепляют при помощи поперечных планок – передвижной и стационарной. Передвижную планку устанавливают вплотную к узлу решетки протеза, крепят к протезируемой деревянной балке гвоздями через предварительно просверленные в планке отверстия.

После этого опорный конец протеза закладывают в гнезде стены кирпичом на цементно-песчаном растворе (марка кирпича – не ниже 75, раствора – не ниже 25). Чтобы избежать просадки ремонтируемого участка перекрытия, верхнюю опорную планку над балкой рекомендуется подклинить. Подклинка изготавливается из обрезков сухих досок.

Допускается и стальная подклинка, если возможно получить под стальными клиньями требуемую площадь смятия. При постановке клиньев необходимо соблюдать условие, при котором потеря площади смятия на подтесанной верхней поверхности балки восполнялась бы выступающими участками клина.

При установке протезов на отдельную дефектную балку, когда соседние балки невредимы, временные опорные стойки можно не ставить, а протезируемый конец дефектной балки рекомендуется подвесить к соседним балкам при помощи переброшенного сверху ригеля и хомутов или скрутки из проволоки (рис. 4.12).

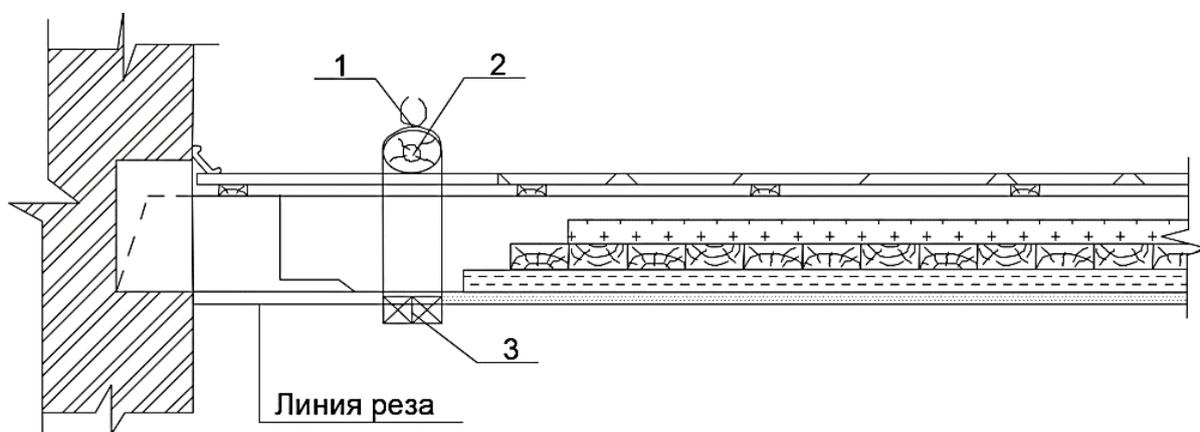
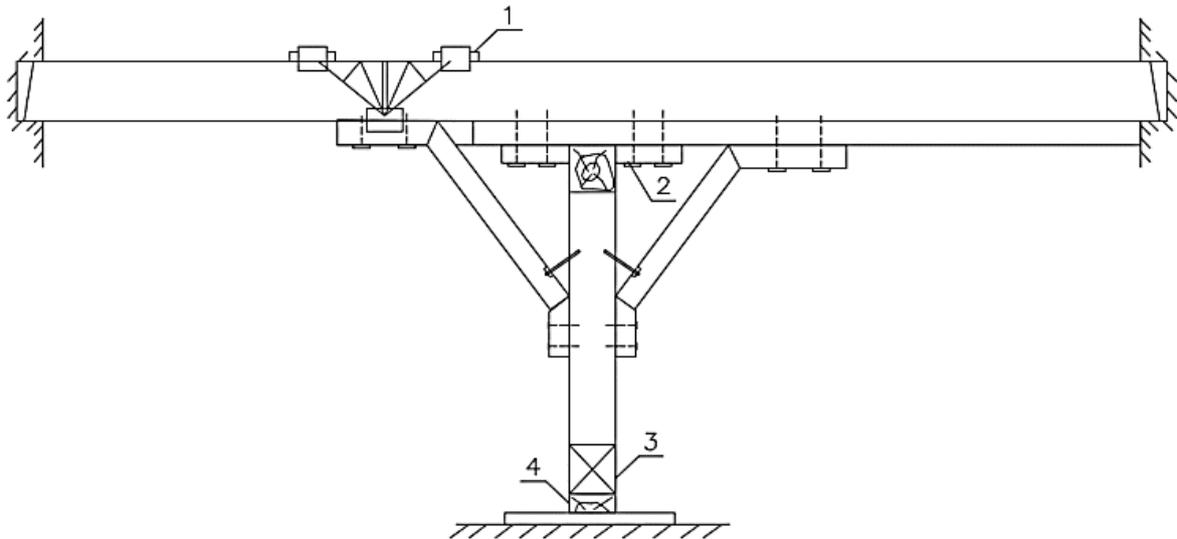


Рис. 4.12. Вывешивание дефектной балки: 1 – ригель; 2 – скрутка или хомут; 3 – подтяжка

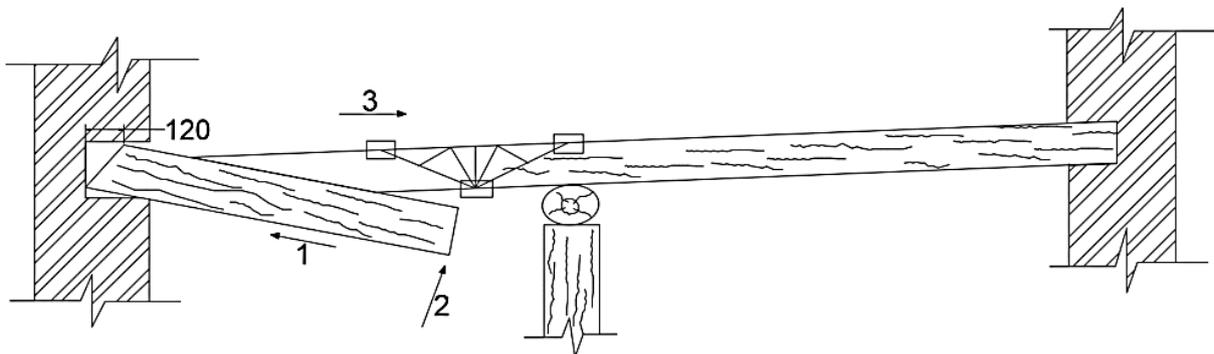
При установке временных стоек, особенно при их подклинке, чтобы вывесить просевшую часть перекрытия, необходимо принять меры предосторожности, обеспечивающие устойчивость поддерживающей конструкции. Это может быть достигнуто креплением опорных стоек дощатым прибором к оконным или дверным коробкам или устройством подкосов к стойкам, прикрепленным к здоровой части перекрытия (рис. 4.13).



*Рис. 4.13. Крепление опорных лесов при вывешивании перекрытий с целью предупреждения их опрокидывания: 1 – клинья; 2 – обрезки досок, предотвращающие боковое смещение прогона; 3 – домкрат; 4 – прогон, разгружающий давление от стойки*

### **Способ установки промежуточного протеза**

Промежуточный протез представляет собой жесткое крепление в стыке составной по длине балки, образованной сохранившимся здоровым ее концом и наставленным взамен поврежденной (дефектной) части. Способ установки промежуточного протеза приведен на рис. 4.14.



*Рис. 4.14. Схема установки на балку промежуточного протеза: 1, 2, 3 – последовательность операций*

Для установки протеза необходимо иметь в глубине опорного гнезда против торца сменяемого участка балки запас размером 12 – 14 см. По-

врежденную часть балки необходимо разгрузить, демонтировать элементы перекрытия и завести под конец здоровых участков опорные стойки и прогон, вывесить протезируемую конструкцию методом подклинки.

Сменяемые (пораженные) участки балок отпиливают, после чего устанавливают протезы, а снизу заводят в гнездо новые, предварительно антисептированные обрезки деревянных балок, которые укладывают на нижние опорные планки протезов. Рекомендуется, чтобы отрезок деревянной балки был изготовлен из воздушного сухого леса. Это необходимо для того, чтобы приблизить степень влажности обрезка к влажности древесины при протезировании балки, что почти полностью исключает просадку перекрытия.

Опыт применения промежуточного протеза показал необходимость при его установке давать конструкции временный строительный подъем, вызываемый обмятием древесины балки под опорными планками. Величина строительного подъема составляет от 2 до 5 см. В таком состоянии делают подклинку под верхние планки промежуточного протеза, обеспечивая при этом нормальную осадку конструкции (до горизонтального положения). Для того чтобы протез можно было подклинить, высота применяемого протеза (т. е. вертикальное расстояние между опорными верхними и нижней планкой протеза) должна быть на 3 – 4 см больше высоты протезируемой балки (с учетом подрезки под нижнюю опорную планку).

При установке промежуточного протеза его необходимо временно прикрепить, чтобы избежать опрокидывания при надевании на протезируемый конец нового элемента балки. Крепление осуществить гвоздями через отверстия, сделанные в верхней планке протеза. После подклинки и вывески протеза через те же отверстия в верхних опорных планках в балку сквозь клинья забивают по 2 – 3 гвоздя.

Иногда при установке промежуточного протеза в нужные сроки не удается получить сухой лес необходимого сечения для заготовки наращиваемых концов балок ремонтируемого перекрытия. Обрезки

бревен и брусьев в таких случаях допускается заменять пакетом из сухих досок, поставленных на ребро, с расчетом, чтобы ширина досок соответствовала высоте протезируемой балки, а площадь составного сечения равнялась необходимой площади наращиваемого конца по расчету. Чтобы предотвратить возможное расслоение составного пакета, его рекомендуется сплотить 2 – 4 стяжными болтами диаметром 12 мм. Для изготовления составного пакета не следует брать доски толщиной менее 5 – 6 см. До сплачивания составного пакета его доски должны быть антисептированы со всех сторон.

Допускается применять и другой способ сращивания, употребляя вместо деревянных концов балок обрезки металлических балок соответствующего сечения. Применение металлических концов целесообразно при опасности быстрого загнивания концов балок в гнездах наружных стен. При применении металлических концов вместо деревянных необходимо помнить, что высота наращиваемого металлического конца всегда меньше высоты деревянной балки. Поэтому на нижнюю опорную площадку стандартного протеза должна быть подложена под металлический конец балки подкладка, приваренная во избежание смещения к протезу или прикрепленная к самой балке. Лучше всего это делать при изготовлении протеза.

### ***Протезирование наслонных стропил***

Из-за протечек в желобах и карнизах крыш часто происходит загнивание и разрушение концов наслонных стропил.

Замена поврежденной части стропильной ноги протезом там, где необходимо отремонтировать кровельный покров без разборки значительных участков крыши, экономически рентабельна и ускоряет работу. Конструкция стандартного протеза типа КП-1-С приведена на рис. 4.15. Он легко надевается на спиленный конец стропильной ноги, а главное, не требует для связи с ней никаких крепежных деталей.

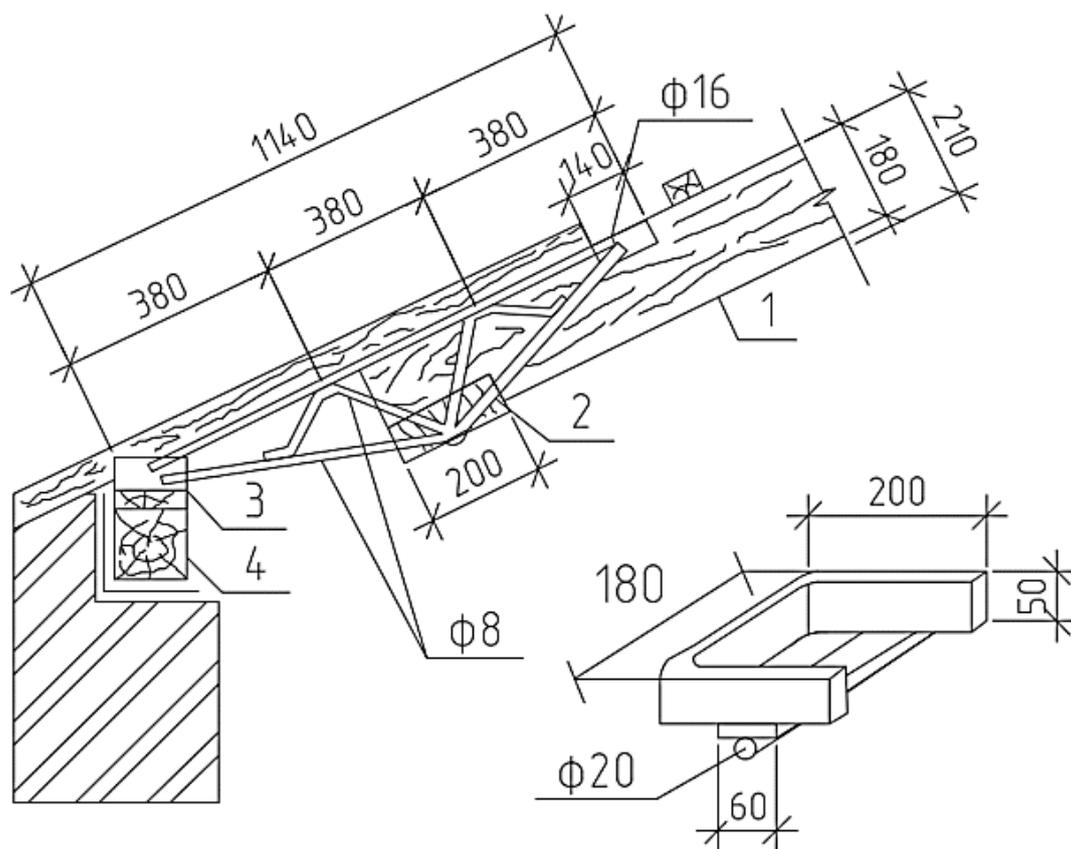


Рис. 4.15. Стропильный протез типа КС-1-С: 1 – стропильная нога; 2 – нижний опорный узел; 3 – подкладки; 4 – подстропильный брус (мауэрлат)

Способ установки стропильных протезов тот же, что и при протезировании балок перекрытия: протез заводят на ремонтируемую стропильную ногу, поворачивают его на  $90^\circ$  и укладывают на мауэрлат (подстропильный брус).

Нижний опорный узел стропильного протеза сконструирован несколько иначе, чем балочного. В стропильном протезе предусмотрена площадка, в которую упирается спиленный торец стропильной ноги. Благодаря этой площадке стропильная нога не сползает. Жесткость верхнего сжатого пояса в поперечном направлении обеспечивается раскосной решеткой такой же конструкции, как и в балочных концевых протезах. Незначительная разница в уклонах крыш восполняется подтеской или подклинкой под опорную площадку протеза.

Для крепления обрешетки в опорный швеллер протеза устанавливают вдоль стропильных ног доску, как показано на рис. 4.15, предохраняющую фермы протеза от передачи изгибных деформаций на их гибкие элементы.

Рекомендуются и видоизмененные конструкции протезов типа КП-2-С и ПП-2-С (рис. 4.16). Основное отличие этих типов протезов заключается в замене сжатого пояса и решетки протезных ферм брусчатим вкладышем, поперечное сечение которого примерно равно сечению ремонтируемой стропильной ноги. Сжимающее усилие во вкладыше при изгибе стропильной ноги передается на упорные элементы протезов. Металлические упоры протезов из полосовой стали толщиной 6 – 8 мм, вваренные в опорные швеллеры, передают сжимающие усилия на верхние пояса опорных металлических протезов.

Конструкция опорных частей протеза почти не отличается от опорных ферм типа КП-1 и ПП-1. Растягивающие усилия в средней части протеза воспринимаются двумя стальными стержнями диаметром 20 мм. Последние могут иметь болтовую нарезку и вставляться в проушины из обрезков труб диаметром 25 мм. Болтовые соединения позволяют натянуть протез при установке и подтянуть в процессе эксплуатации, если под влиянием усушки вкладыша торец его будет неплотно касаться вертикальных планок.

При упрощенной конструкции нижнего растянутого пояса протеза в виде круглых стержней, приваренных к нижним опорным швеллерам, того же эффекта можно добиться расклинкой за одним из торцов вкладыша.

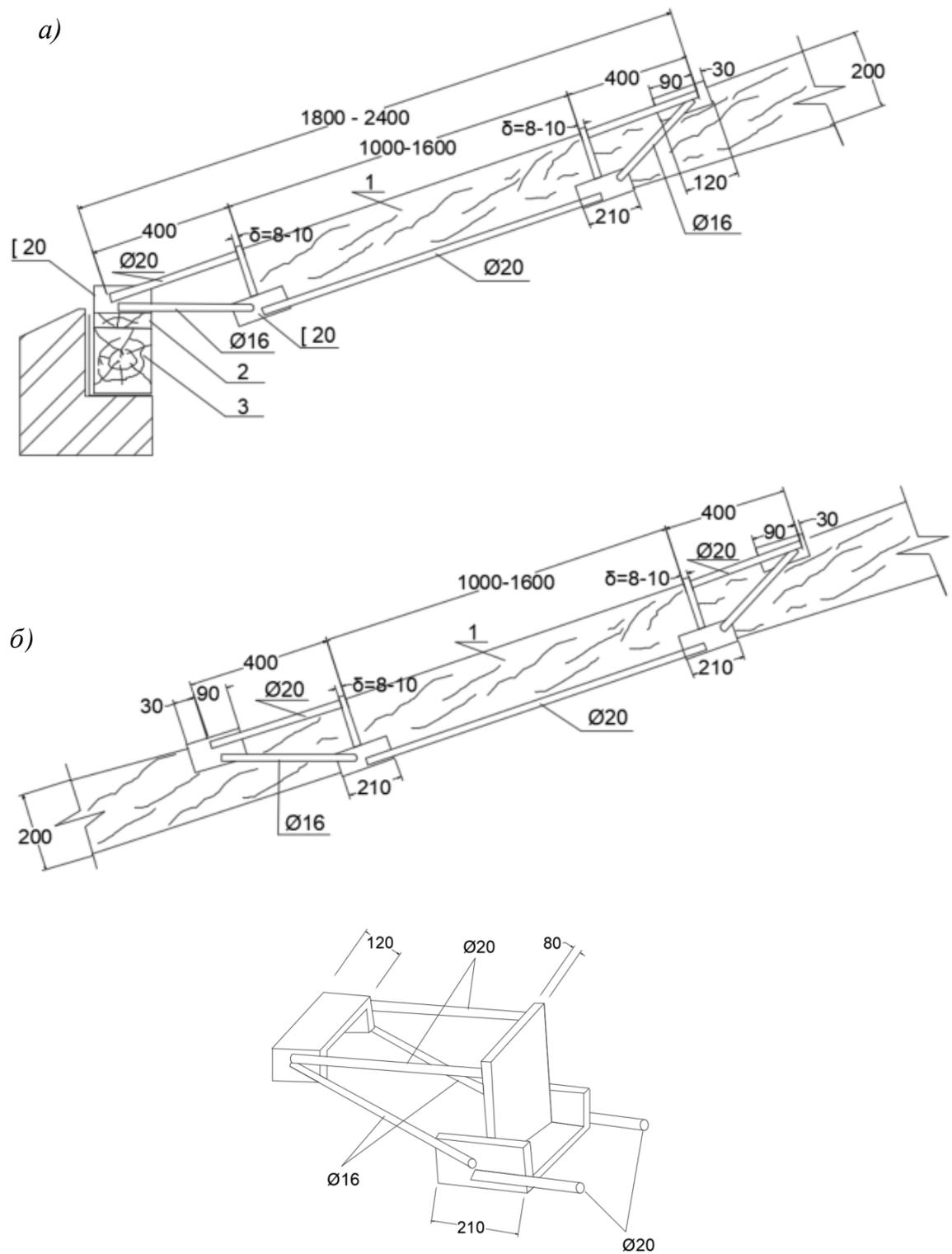


Рис. 4.16. Стропильные протезы с деревянными вкладышами типа КП-2-С (а) и ПП-2-С (б): 1 – вкладыши; 2 – накладки; 3 – мауэрлат; 4 – стропильная нога

Главным достоинством протезов типа КП-2-С и ПП-2-С является возможность заменить поврежденный участок стропил и балок на

длине 1 – 1,6 м. Другими достоинствами сквозных металлических протезов следует считать их разборность, малые размеры опорных элементов, а следовательно, сравнительно небольшую массу и портативность. Эти факторы влияют на удобство монтажа, а простота конструкции протеза и производства работ по усилению дефектных конструкций позволяет привлечь рабочих с низкой квалификацией.

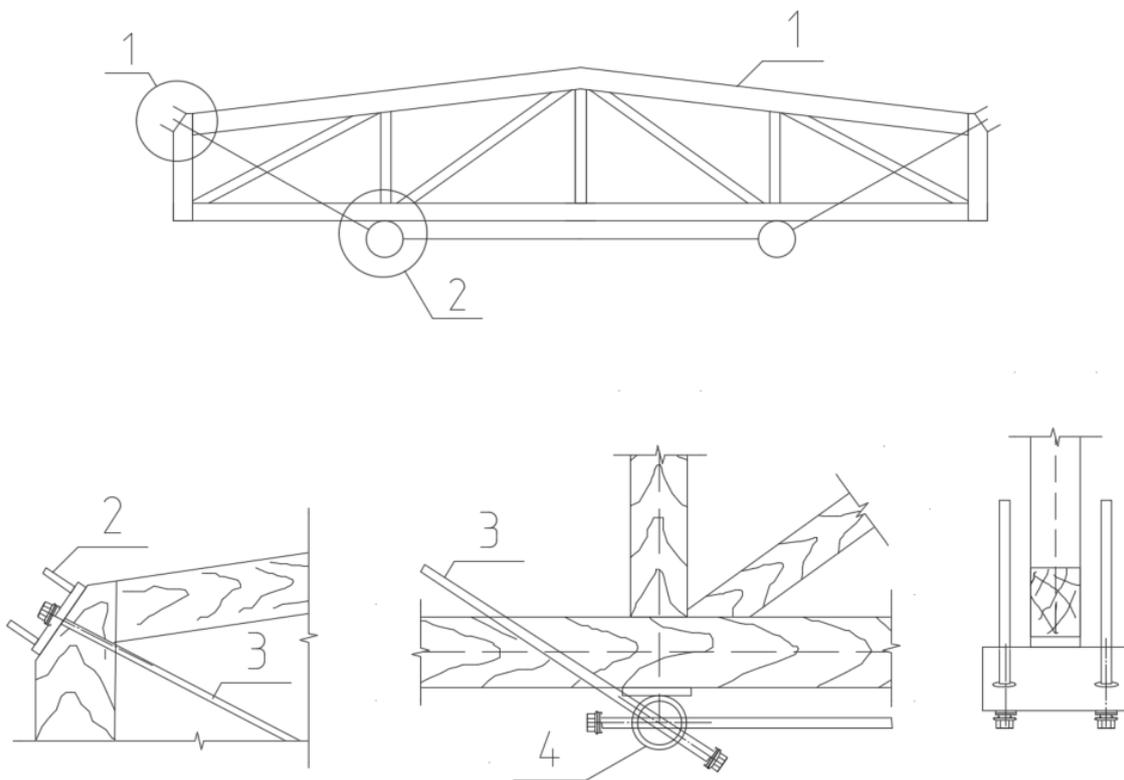
#### ***4.3.2. Усиление конструкций с изменением прежней схемы работы***

Конструкции усилений с изменением прежней схемы их работы всегда строго индивидуальны, во многих случаях эффективны, применяются при недостаточной общей несущей способности и разрабатываются специалистами.

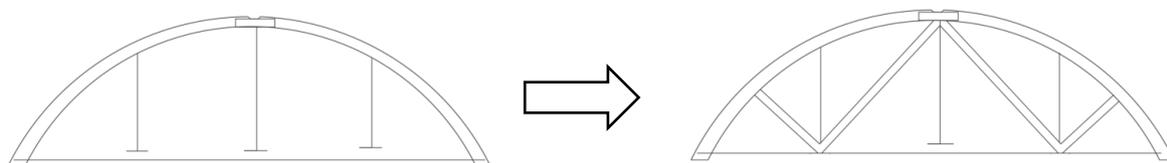
Усиление конструкции в целом применяется при многочисленных дефектах и общей недостаточной несущей способности. Такое усиление представляет собой систему стальных тяжей с резьбовыми соединениями, которые могут вводиться в состав решетки фермы в виде дополнительных растянутых раскосов и стоек, кроме этого они могут образовывать дополнительные растянутые пояса в виде так называемых подпружных тяг от опоры до опоры усиливаемой конструкции. В пролете подпружные тяги могут быть опущены при помощи дополнительных стоек значительно ниже нижней кромки конструкции. При этом общая высота конструкции увеличивается и соответственно усилия сжатия в ее верхнем поясе существенно уменьшаются (рис. 4.17).

Усиление дефектных гибких арочных конструкций может быть произведено путем установки дополнительной решетки, благодаря чему арка превращается в значительно более жесткую сегментную ферму (рис. 4.18). Трехшарнирные распорные системы могут быть превращены в двухскатные фермы шпренгельного типа с двумя стойками (рис. 4.19).

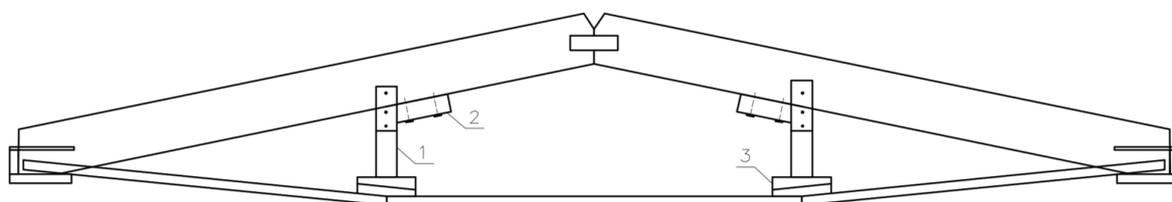
Балочные конструкции также могут быть усилены с изменением их расчетной схемы посредством подведения дополнительных опор, стоек либо подкосов или укосин. При этом значительно возрастает их несущая способность (рис. 4.20).



*Рис. 4.17. Усиление конструкции стальными тяжами:  
1 – конструкция; 2 – опорная траверса; 3 – тяжи из стальной арматуры;  
4 – промежуточная опора конструкции*



*Рис. 4.18. Превращение дефектной арочной конструкции в сегментную ферму*



*Рис. 4.19. Усиление треугольных распорных систем методом превращения  
в шпренгельную ферму: 1 – стойка; 2 – упор; 3 – клинья*

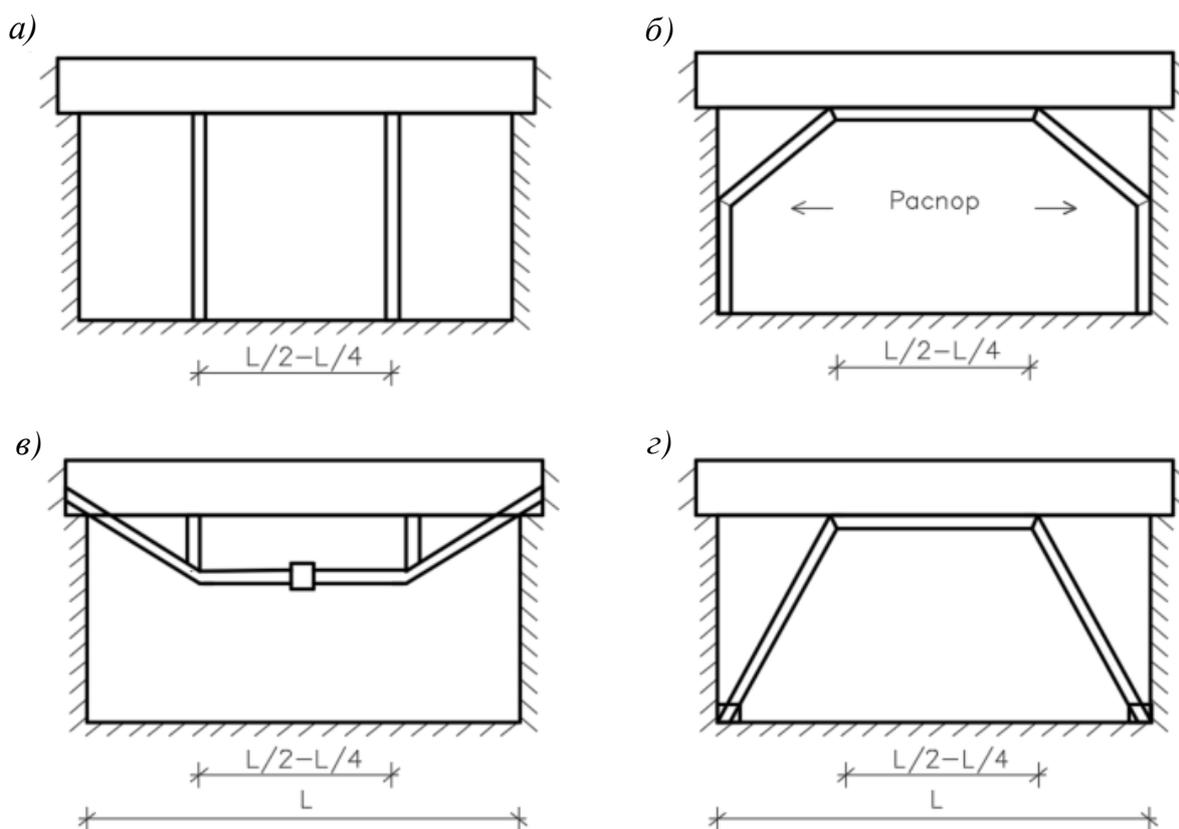


Рис. 4.20. Методы усиления балочных конструкций с изменением схемы работы:  
 а – за счет установки дополнительных (временных) опор; б – усиление подкосами; в – усиление шпренгельной системой (подпружной цепью);  
 г – усиление укосинами

Одним из методов усиления плоскостных несущих деревянных конструкций с изменением схемы их работы является раскрепление связями, обеспечивающими пространственную устойчивость, если ранее пространственная устойчивость не была обеспечена. При этом изменяется схема работы усиляемых конструкций и элементов из их вертикальной плоскости.

В случае, когда дефекты конструкции настолько серьезны, что ее усиление нецелесообразно, конструкцию удаляют и заменяют новой.

Актуальной задачей сегодняшнего дня выступает разработка новых методов усиления деревянных конструкций. Некоторые из наиболее эффективных и часто встречающихся методов усиления приведены в качестве примеров в следующем разделе.

#### **4.4. Основные принципы проектирования и расчета усиления деревянных строительных конструкций**

1. Выбор того или иного метода усиления конструкций зависит от технического задания на ремонт или реконструкцию здания или сооружения, которое включает возможные изменения объемно-планировочных решений, нагрузок и условий эксплуатации. При этом необходимо стремиться к максимальному сохранению существующих конструкций зданий и сооружений, что, как правило, обеспечивает минимальные затраты на ремонтно-восстановительные работы [23].

2. При выборе оптимального способа усиления деревянных конструкций необходимо установить характер их работы и фактически действующие нагрузки. При этом важно учитывать современные достижения в оценке влияния фактических узлов сопряжения на усилия в конструкциях и соответствие выбранных расчетных схем реальным условиям работы.

3. При определении нагрузок на существующие конструкции необходимо использовать фактические данные о собственной массе строительных материалов и технологического оборудования, так как неверное определение значения этих величин приводит к существенному завышению фактически действующих нагрузок и как следствие к неоправданному и дорогостоящему усилению конструкции.

4. Определенным резервом для снижения материалоемкости и трудозатрат при ремонте и реконструкции зданий и сооружений можно назвать учет прочностных характеристик древесины, стали, бетона и кирпичной кладки при выполнении поверочных расчетов. Однако использование реальных прочностных характеристик материалов должно осуществляться без ущерба для эксплуатационной надежности отдельных конструкций зданий и сооружений в целом.

5. При выборе способа усиления конструкций следует отдавать предпочтение индустриальным методам, которые не требуют разгрузки конструкций, а также методам, связанным с изменением статической схемы конструкции, использованием предварительного напряжения, высокопрочным сталям, композитным материалам, полимерфибробетону, напрягающим цементам и другим эффективным материалам.

6. При усилении конструкции предварительным напряжением применяют такие конструктивные решения и методы производства работ, при которых соблюдается главное включение элементов усиления в работу с существующими конструкциями. Для этой цели следует выполнять временную частичную либо полную разгрузку усиливаемых конструкций или использовать искусственное регулирование усилий резьбовыми соединениями с помощью муфт, гаек и прочих устройств.

7. При выборе вариантов усиления следует отдавать предпочтение решениям с четкой расчетной схемой, обеспечивающим совместную работу усиливаемой конструкции с элементами усиления и позволяющим достоверно определить дополнительно воспринимающую нагрузку. При этом рекомендации по усилению должны учитывать не только перспективы увеличения нагрузок, но и ликвидировать обнаруженные на стадии обследования дефекты изготовления, монтажа и эксплуатации. К последним относятся: отклонение поперечных размеров сечения от проектных решений; наличие усушечных трещин; сверхдопустимые отклонения конструкции от вертикали; расстановка механических связей узловых соединений конструкций, не соответствующая действующим строительным нормам и правилам и т. п.

8. Усиление конструкций может осуществляться по двум схемам: возведение новых разгружающих или заменяющих конструкций, которые полностью или частично воспринимают действующие нагрузки; увеличение несущей способности существующих конструкций.

В свою очередь, усиление несущей способности конструкции может осуществляться без изменений и с изменением расчетной схемы и напряженного состояния; с применением специальных методов усиления.

9. Для элементов усиления деревянных конструкций рекомендуется применять арматуру классов А240, А300 и А400. В конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных условиях, рекомендуются стали Ат 600 К, Ат 800 СК, Ат 1000 К.

При длине усиливаемых конструкций до 12 м рекомендуются все виды арматуры свыше 12 м – канаты из проволоки диаметром не менее 2,5 мм. Стержневая свариваемая арматура может применяться по длине при усилении конструкции любых пролетов. Плохо свариваемая арматура классов Ат 600, Ат 800, Ат 1000 и Ат 1000 К при больших пролетах стыкуется с помощью обжимных гильз.

Конструкцию усиления из каната К-7 и К-19 – пучков высокопрочной проволоки, – расположенных открыто, допускается применять только в неагрессивных и слабоагрессивных средах. В агрессивных условиях эксплуатации рекомендуется использовать стали марок 18Г2С и 25Г2С. Фасонные детали элементов усиления рекомендуется выполнять из прокатной стали.

10. Конструкция усиления рассчитывается по первой и второй группам предельных состояний. Для конструкций, усиление которых вызвано дефектами снижениями несущей способности, расчет ведется только по первой группе предельных состояний.

11. Расчет усиленных конструкций должен учитывать изменения их статической схемы и напряженного состояния. При усилении статически неопределимых конструкций необходимо учитывать возможность перераспределения усилий, ограничивая величину перераспределения моментов до 30 %. На отдельных участках конструкций эта величина может быть превышена, поэтому такие участки должны быть проверены по прочности и деформативности.

12. При повреждении сечения элементов более чем на 50 % несущая способность существующей конструкции в расчетах не учитывается, и вся нагрузка передается на элементы усиления.

Расчетное сечение стальных элементов металлодеревянных конструкций следует принимать с учетом возможных повреждений вследствие коррозии и других причин и возможных дефектов. Особенно опасны коррозионные повреждения для механических (нагельных и т. п.) соединений в узловых сопряжениях деревянных элементов, снижение прочности в которых усугубляется, как правило, развитием усущечных трещин в накладках и прокладках. При таком сочетании дефектов элементы и крепежные детали усиления рассчитываются на полную нагрузку.

13. При изгибе и внецентренном сжатии совместная работа элементов усиления с усиливаемой конструкцией может учитываться только при обеспечении их надежного соединения. Расчет усиления следует выполнять с учетом податливости соединений.

14. Усиленные элементы рассчитывают на прочность по нормальным и касательным напряжениям, а также на местное смятие и устойчивость по СП 64.13330. При наличии крутящих моментов следует проверить прочность пространственных сечений.

15. Нормативные расчетные значения прочностных характеристик древесины принимаются в соответствии с СП 64.1330, металлов – СП 16.13330, арматуры и бетона – СП 63.13330.

#### 4.4.1. Усиление конструкций подведения дополнительных элементов

Исходные данные: требуется проверить расчетную несущую способность стропил крыши здания. Стропильные ноги выполнены из бревен диаметром 150 мм через 2,2 м. Стропила в нижней части опираются на мауэрлат (двухкантный брус). Схема стропил приведена на рис. 4.21.

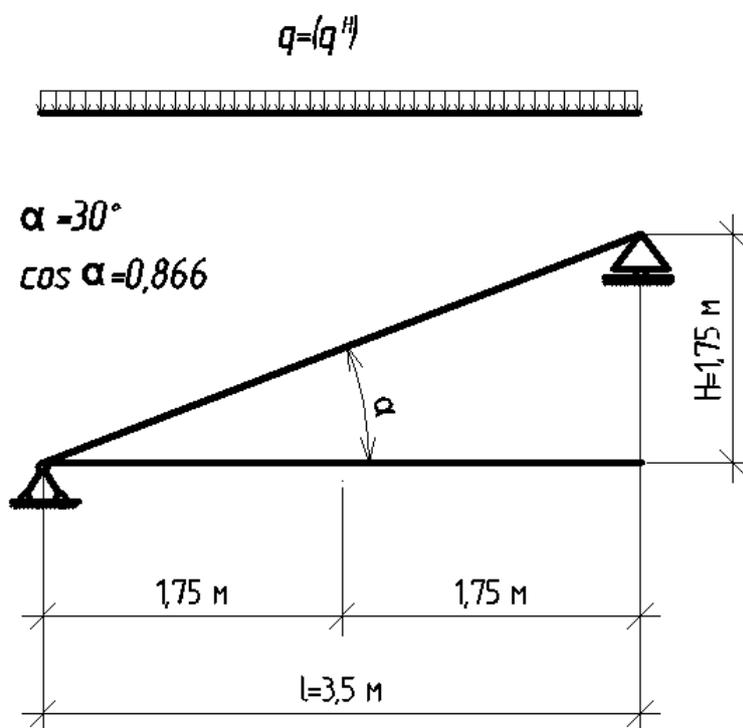


Рис. 4.21. Расчетная схема стропильной ноги

Нагрузка на погонный метр горизонтальной проекции стропилы (с учетом собственного веса): нормативная –  $q_n = 240 \text{ кгс/м}$ ; расчетная –  $q = 320 \text{ кгс/м}$ . Здание нормального класса ответственности КС-2 –  $\gamma_n = 1.0$ .

Расчет:

Определяем равномерно распределенную нагрузку

$$Q = qS = 320 \cdot 2,2 = 704 \text{ кг/м.}$$

Расчетное сопротивление древесины стропил изгибу  $R_{и}$  определим из соотношения

$$R_{и} = 24,0 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 14,25 \text{ МПа (142,5 кгс/см}^2\text{)}.$$

Геометрические характеристики поперечного сечения стропильной ноги в середине длины

$$d_p = d_0 + 0,01 \frac{l}{2 \cdot \cos \alpha} = 15 + 0,01 \frac{330}{2 \cdot 0,866} = 16,9 \text{ см};$$

$$W = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 16,9^3 = 482 \text{ см}^3;$$

$$M = \frac{Q \cdot l^2}{8} = \frac{704 \cdot 3,5^2}{8} = 1078 \text{ кг} \cdot \text{м};$$

$$\sigma_Y = \frac{\gamma_n \cdot M}{W} = \frac{1,0 \cdot 107800}{482} = 223,7 \text{ кгс/см}^2 > R_{и} = 142,5 \text{ кгс/см}^2.$$

Усиление производим установкой дополнительных стропил (посередине между существующими). Расстояние между стропилами равно  $0,5 \times 2,2 = 1,1$  м. Таким образом, нагрузка на стропильную ногу уменьшится вдвое и составит

$$Q_n = \frac{240 \cdot 2,2}{2} = 265 \text{ кгс/м}; \quad Q = \frac{320 \cdot 2,2}{2} = 352 \text{ кгс/м}.$$

Дополнительные стропила выполняем из соснового пиломатериала 2-го сорта. Сечение прямоугольное. Расчетное сопротивление древесины изгибу  $R_{и}$  определим из соотношения

$$R_{и} = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 11,58 \text{ МПа (115,8 кгс/см}^2\text{)}.$$

Требуемые геометрические характеристики

$$W_{np} = \frac{\gamma_n M}{R_u} = \frac{\gamma_n \cdot Q \cdot l^2}{8 \cdot R_u} = \frac{0,95 \cdot 352 \cdot 3,5^2 \cdot 100}{8 \cdot 115,8} = 442 \text{ см}^3;$$

$$I_{тр} = \frac{\gamma_n \cdot 5 \cdot q^n \cdot l^3}{384 \cdot E} \left[ \frac{l}{f} \right] = \frac{1,0 \cdot 5 \cdot 2,65 \cdot 350^3}{384 \cdot 10^5} 200 = 2959 \text{ см}^4,$$

где  $\left[ \frac{l}{f} \right]$  – допустимый относительный прогиб, определяемый по табл. Д1 прил. Д СП 20.13330.

Определяем высоту поперечного сечения стропилы

$$h = \frac{2 \cdot I_{тр}}{W_{np}} = \frac{2 \cdot 2959}{442} = 13,4 \text{ см}^2.$$

Принимаем  $h = 15$  см.

Ширина поперечного сечения:

– из условия прочности

$$b_1 = \frac{6 \cdot W_{\text{тр}}}{h^2} = \frac{6 \cdot 442}{15^2} = 11,8 \text{ см};$$

– из условия жесткости

$$b_2 = \frac{12 \cdot I_{\text{тр}}}{h^3} = \frac{12 \cdot 2959}{15^3} = 10,52 \text{ см}.$$

Принимаем сечение стропилы  $12 \times 15$  см.

Напряжения в существующих стропилах после установки дополнительных будут равны

$$\sigma_y = \frac{\gamma_n \cdot M}{W} = \frac{1,0 \cdot 53900}{482} = 112 \text{ кгс/см}^2 < R_{\text{и}} = 142,5 \text{ кгс/см}^2,$$

где  $M = \frac{ql^2}{8} = \frac{352 \cdot 3,5^2}{8} = 539 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$

Вывод: усиление стропил выполняем подведением дополнительных разгружающих балок сечением  $12 \times 15$  см. Новые усиливающие балки устанавливаем посередине между существующими стропилами.

#### **4.4.2. Усиление конструкций накладками**

Исходные данные: центрально нагруженная стойка квадратного сечения  $100 \times 100$  мм, высотой 4,0 м несла нагрузку с учетом собственного веса: нормативную  $N_1^{\text{н}} = 25$  кН (2,5 тс); расчетную –  $N_1 = 30$  кН (3 тс).

При реконструкции нагрузка на стойку увеличилась до  $N^{\text{н}} = 55$  кН (5,5 тс);  $N = 70$  кН (7,0 тс). Стойка выполнена из сосны 2-го сорта.

Здание нормального класса ответственности КС-2 –  $\gamma_n = 1,0$ .

Расчет:

Расчетная несущая способность стойки при сжатии, усиленной накладкой на всю высоту, проверяется по формуле

$$\gamma_n N \leq \varphi (R_{\text{сж}} F + R_c F_{\text{ус}}),$$

где  $\varphi$  – коэффициент продольного изгиба, определяемый в соответствии с п. 7.3 СП 64.13330;  $F, F_{\text{ус}}$  – площадь поперечного сечения соответственно стойки и усиливающей накладки.

Расчетное сопротивление древесины усиливающей накладки и усиливаемой стойки

$$R_c = R_{\text{сж}} = 195 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 115,83 \text{ кг/см}^2.$$

Гибкость стойки с усилением

$$\lambda_y = \frac{l_0}{i} = \frac{400}{\left(\frac{15}{2}\sqrt{\frac{1}{3}}\right)} = \frac{400}{4,33} = 92.$$

При вычислении коэффициента гибкости  $\varphi$  учитывается увеличение гибкости стоек за счет податливости соединений, которыми усиливающая накладка скреплена с усиливаемой стойкой. Увеличенная гибкость носит название приведенной  $\lambda_{пр}$  и вычисляется относительно оси у-у с учетом податливости соединений. При расстоянии между скреплениями ветвей стойки не более 7 толщин усиливающей ветви гибкость определяется по формуле

$$\lambda_{пр} = \mu_y \cdot \lambda_y = 1,0006 \cdot 92 = 92,06,$$

где  $\mu_y = \sqrt{1 + K_c \frac{b \cdot h \cdot n_{ш}}{l_0^2 \cdot n_c}} = \sqrt{1 + \frac{0,5^2 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 1}{10 \cdot 40^2 \cdot 2}} = 1,0006$ ;  $b$  и  $h$  – размеры поперечного сечения стойки;  $n_{ш}$  – расчетное число швов в элементе;  $l_0$  – расчетная длина элемента, м;  $n_c$  – расчетное количество срезов гвоздей или болтов в одном шве на 1 пог. м элемента;  $K_c$  – коэффициент податливости соединений, определяемый по табл. 4.4.

Таблица 4.4. Значение коэффициента податливости соединений  $K_c$

Вид соединений	Коэффициент $K_c$	
	при центральной сжатии	при сжатии с изгибом
Гвозди	$1/10d^2$	$1/5d^2$
Болты, нагели диаметром: $\leq 1/7a$	$1/5d^2$	$1/2,5d^2$
$> 1/7a$	$1,5/ad$	$3/ad$

Примечание:  $d$  – диаметр гвоздя (ригеля, болта), см;  $a$  – толщина более тонкой ветви элемента, см.

Коэффициент продольного изгиба составит

$$\varphi = \frac{A}{\lambda_{пр}^2} = \frac{3000}{92,06^2} = 0,354.$$

Определяем площадь поперечного сечения накладки

$$F_{yc} = \left( \gamma_n \frac{N}{\varphi} - R_{сж} F \right) / R_c = \left( 1,0 \frac{7000}{0,354} - 115,38 \cdot 10 \cdot 10 \right) : 115,38 = 70,0 \text{ см}^2.$$

Ширину сечения накладки усиления принимаем по ширине стойки, равной  $b_{yc} = 10$  см.

Высоту накладки определяем по формуле

$$h_{yc} = \frac{F_{yc}}{b_{yc}} = \frac{70}{10} = 7 \text{ см.}$$

Вывод: усиление деревянных стоек выполняем установкой усиливающей накладки  $7,0 \times 10,0$  см.

### 4.4.3. Усиление конструкций стальной арматурой

#### 4.4.3.1. Инженерный метод расчета

Исходные данные: клееная балка покрытия прямоугольного сечения (рис. 4.22) несла нагрузку с учетом собственного веса: нормативную –  $q_1^H = 7$  кН/м (700 кгс/м); расчетную –  $q_1 = 12$  кН/м (1200 кгс/м).

При реконструкции здания шаг балок увеличили в 1,4 раза, что привело к повышению нагрузки до  $q_1^H = 9,8$  кН/м (980 кгс/м);  $q_1 = 16,8$  кН/м (1680 кгс/м).

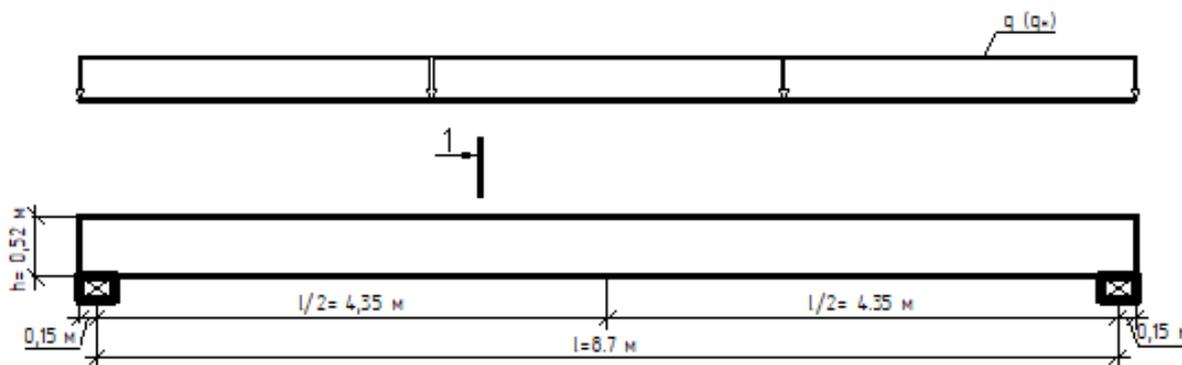


Рис. 4.22. Расчетная схема усиливаемой клееной деревянной балки

Здание нормального 2-го уровня ответственности –  $\gamma_n = 1,0$ .

Балка выполнена из сосны 2-го сорта толщиной (после острожки) 33 мм.

Расчетные сопротивления:

$$R_c = R_{и} = R_{см} = 19,5 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 11,58 \text{ МПа (115,8 кг/см}^2\text{)};$$

$$R_{ск} = 2,4 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 1,42 \text{ МПа (14,2 кг/см}^2\text{)};$$

$$R_{см,90} = 4,5 \cdot 0,66 \cdot 0,9 = 2,67 \text{ МПа (26,7 кг/см}^2\text{)}.$$

Требуется усилить балку армированием в нижней растянутой зоне.

Расчет:

Находим расчетное сечение

$$x = l \cdot 0,5 = 8,7 \cdot 0,5 = 4,35 \text{ м.}$$

Расчетный изгибающий момент

$$M = \frac{qx}{2}(l - x) = \frac{1680 \cdot 4,35}{2}(8,7 - 4,35) = 15894 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 15,89 \text{ тс} \cdot \text{м.}$$

Высота балки в расчетном сечении  $h_x = 50 \text{ см.}$

С учетом приклеиваемой доски толщиной (после острожки) 20 мм  $h = h_x + 2 = 50 + 2 = 52 \text{ см}$  (рис. 4.23).

В нижней зоне ставим  $2\text{Ø}20\text{A}400$  ( $F_a = 6,28 \text{ см}^2$ ). Проверим расчетную несущую способность балки, усиленной армированием при коэффициенте армирования

$$\mu = \frac{F_a}{bh} = \frac{6,28}{20 \cdot 52} = 0,006 \quad (0,6 \% < \mu_{\max} = 3,9 \%);$$

$$\begin{aligned} A_0 \cdot b \cdot h^2 \cdot R_c + 0,33 \cdot \sigma_a \cdot F_a \cdot h(1 - \alpha - 3 \cdot b) &= 0,246 \cdot 20 \cdot 52^2 \cdot 115,8 + 0,33 \times \\ \times 3400 \cdot 6,28 \cdot 52(1 - 0,52 - 3 \cdot 0,04) &= \\ = 1540566 + 131904 &= 1672470 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = \\ = 16,72 \text{ тс} \cdot \text{м} > \gamma_n \cdot M = 0,95 \cdot 15,86 &= \\ = 15,07 \text{ тс} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

$$A_0 = 0,5 \cdot \alpha(1 - 0,1 \cdot \alpha) = 0,5 \times 0,52(1 - 0,1 \cdot 0,52) = 0,246.$$

$$A = \frac{1}{1+Z} = \frac{1}{1+0,924} = 0,52;$$

$$Z = -c + \sqrt{c^2 + \beta} = -0,086 + \sqrt{0,086^2 + 1,013} = 0,924;$$

$$C = \frac{\mu n(2 \cdot K - 1)}{1 + 2 \cdot \mu n K} = \frac{0,006 \cdot 20(2 \cdot 0,94 - 1)}{1 + 2 \cdot 0,006 \cdot 20 \cdot 0,94} = 0,086;$$

$$K = \frac{h_0}{h} = \frac{47}{50} = 0,94, \quad \delta = \frac{a}{h} = \frac{3}{50} = 0,06;$$

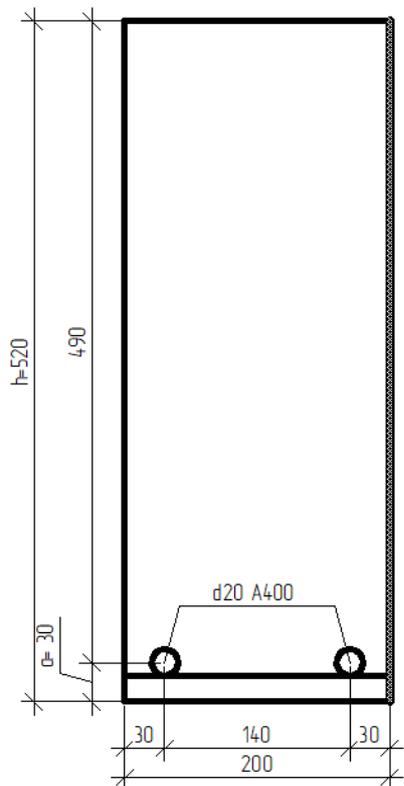


Рис. 4.23. Расчетное поперечное сечение

$$n = \frac{E_a}{E_q} = \frac{2 \cdot 10^6}{10^5} = 20 - \text{коэффициент приведения.}$$

$$\beta = \frac{1+2\mu n(1-K)}{1+\mu nK} = \frac{1+2 \cdot 0,006 \cdot 20(1-0,94)}{1+0,006 \cdot 20 \cdot 0,94} = 1,013.$$

$$\sigma_a = R_a - \text{при } \mu = 0,31 \% < \mu_{\max} = 2,7 \%.$$

$$m_0 = 0,9; m_{\text{сл}} = 1 - \text{по СП 63.13330.}$$

Проверяем прочность на скалывание на опоре, где арматура полностью не включилась в работу (длина зоны анкеровки  $l_{\text{ан}} > 20 \cdot d = 20 \cdot 0,2 = 40$  см.

$$T_{\text{ск}} = \frac{\gamma n \cdot 1,5 \cdot Q}{bh_{\text{он}}} = \frac{1,0 \cdot 1,5 \cdot 7308}{20 \cdot 50} = 10,96 \text{ кгс/см}^2 < R_{\text{ск}} = 14,2 \text{ кгс/см}^2,$$

$$\text{где } Q = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{1680 \cdot 8,7}{2} = 7308 \text{ кгс.}$$

Балка по прогибам рассчитывается как цельнодеревянный изгибаемый элемент по СП 63.13330 с приведенным к древесине моментом инерции сечения.

$$f = \frac{f_0}{K} \left[ 1 + C \left( \frac{h}{l} \right)^2 \right] = \frac{0,74}{1} \left[ 1 + 0 \left( \frac{0,52}{8,7} \right)^2 \right] = 0,74 \text{ см,}$$

где  $f_0$  – прогиб балки постоянного сечения высотой  $h$  без учета деформаций сдвига;  $K = \beta = 1$  – коэффициент, учитывающий влияние переменной высоты сечения;  $C = 0$  – коэффициент, учитывающий влияние деформаций сдвига от поперечных сил.

$$f_0 = \frac{5 \cdot q^H \cdot l^4}{384 \cdot E_q \cdot J_{\text{пр}}} = \frac{5 \cdot 9,8 \cdot 870^4}{384 \cdot 10^5 \cdot 990472} = 0,74 \text{ см,}$$

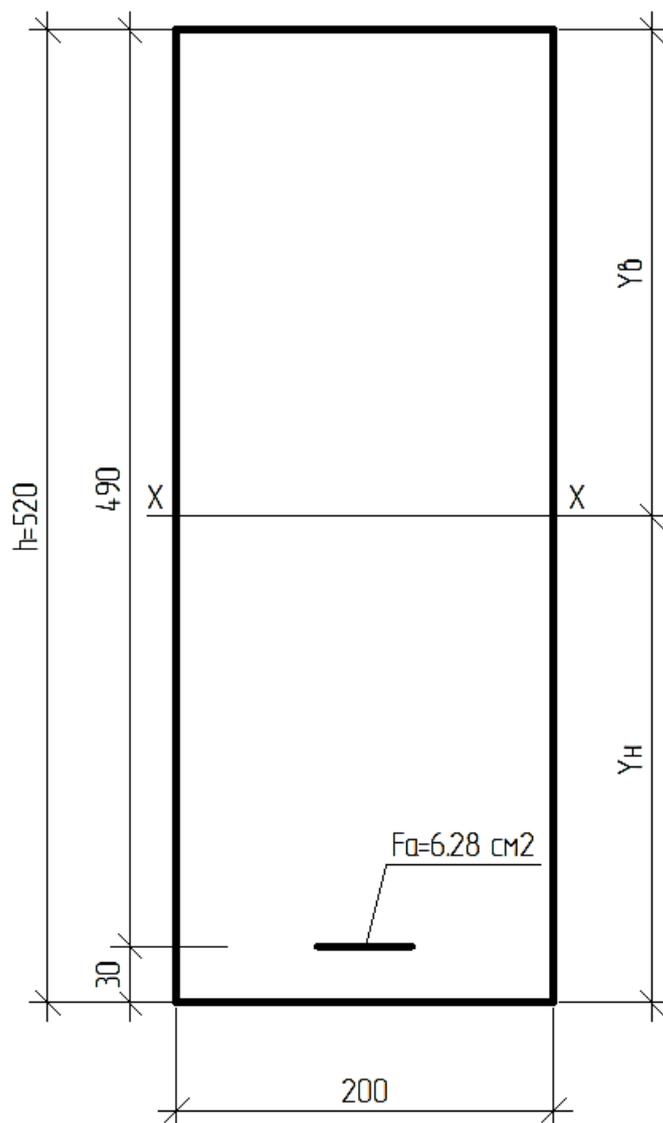
где  $J_{\text{пр}}$  – приведенный к древесине момент инерции поперечного сечения балки в середине пролета (рис. 4.24).

$$y_{\text{н}} = \frac{20 \cdot 52 \cdot 26 + 20 \cdot 6,28 \cdot 3}{20 \cdot 52 + 20 \cdot 6,28} = \frac{27417}{1166} = 23,51 \text{ см;}$$

$$y_{\text{в}} = h - y_{\text{н}} = 50 - 23,51 = 26,49 \text{ см;}$$

$$J_{\text{пр}} = \frac{20 \cdot 52^3}{3} + 20 \cdot 52(26,49 - 26)^2 + 20 \cdot 6,28(23,51 - 3)^2 = 937387 + 250 + 52835 = 990472 \text{ см}^4;$$

$$\frac{f}{l} = \frac{0,74}{870} = \frac{1}{1175} < \left[ \frac{1}{300} \right].$$



*Рис. 4.24. К определению приведенного момента инерции поперечного сечения балки в середине пролета*

Вывод: усиление деревянной клееной балки выполняем установкой арматуры  $2\text{Ø}20\text{A}400$  по нижней растянутой зоне.

#### **4.4.3.2. Численный метод расчета**

Расчет клееной деревянной балки производим в программном комплексе ЛИРА 10.12. Расчет проводился с учетом физической нелинейности древесного материала. Нелинейность в программном комплексе учитывается при задании конечных элементов (пластин) жесткости.

Моделирование всегда предполагает принятие допущений различной степени важности. В то же время должны быть соблюдены основные требования к моделям: адекватность, точность, универсальность и разумная экономичность.

Исходные данные для расчета клееной деревянной балки приняты из п. 4.4.3.1.

Произведен численный расчет для клееной деревянной балки и для клееной деревянной балки, усиленной двумя арматурными стержнями  $\varnothing 20$  А400 с размерами поперечного сечения  $200 \times 520$  мм и длиной 9,0 м. Материал – сосна.

На первом этапе осуществляется выбор признака схемы расчетной модели. Варианты выбора признака схемы становятся доступны при создании новой расчетной модели (рис. 4.25). Для моделирования работы балочной конструкции принимается признак схемы № 5 (пространственная конструкция). В стартовом окне доступно указание папки для сохранения расчетной схемы и результатов расчета.

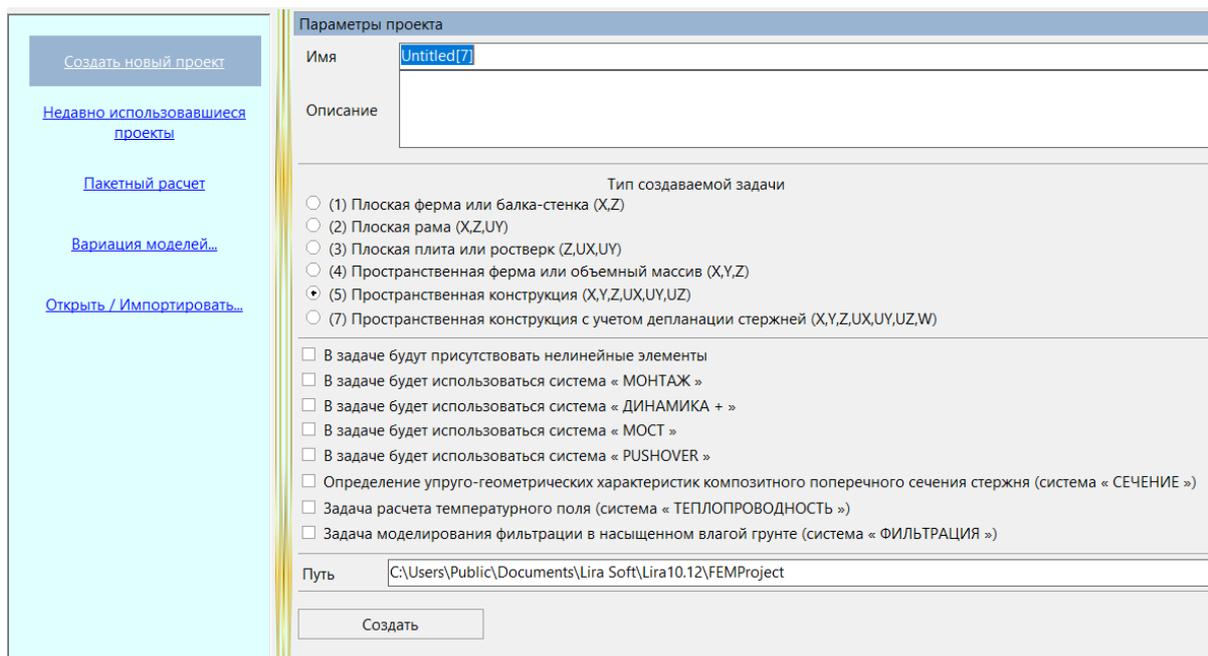


Рис. 4.25. Стартовое окно создания новой расчетной модели

Создание геометрической исходной схемы объекта исследования. В зависимости от пролета и поперечного сечения балочной конструкции подбираются параметры вспомогательной сетки построения (рис 4.26).

Квадратная	Полярная	Прямоугольная	<b>Центр</b>	
Шаг	X` 200	Y` 9000	mm	Xo 0 мм
Количество	1	1		Yo 0 мм
Угол	0	°		Zo 0 мм
<input checked="" type="radio"/> XOY <input type="radio"/> XOZ <input type="radio"/> YOZ <input type="radio"/> XYZ				<input type="button" value="Перенести в начало координат"/>

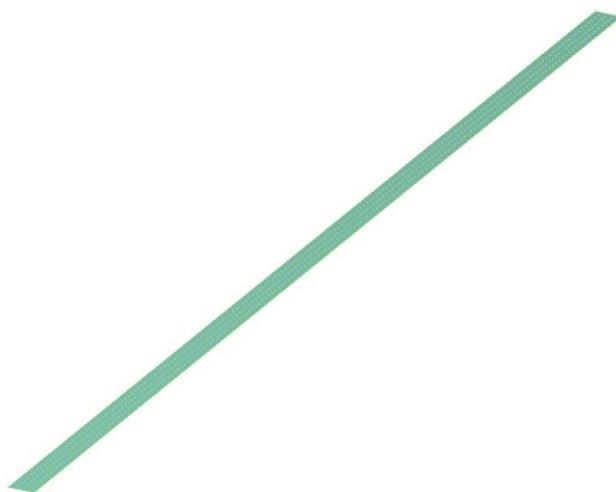
Рис. 4.26. Редактирование контура геометрической сетки

Выполнение триангуляции заданного контура – разбиение продольного сечения на трех- и четырехузловые плоские элементы с наименьшим шагом с целью обеспечения максимальной точности выполнения расчета (рис. 4.27).

<b>Метод</b>	
<input type="radio"/>	 Сетка узлов
<input type="radio"/>	 Делоне
<input type="radio"/>	 ReGrid
<input type="radio"/>	 ReGrid2
<input checked="" type="radio"/>	 ReGridQuad
Шаг	50 мм
<input type="checkbox"/> В местах пересечения со стержнями создавать твердые тела	
<input type="button" value="Назначить"/>	

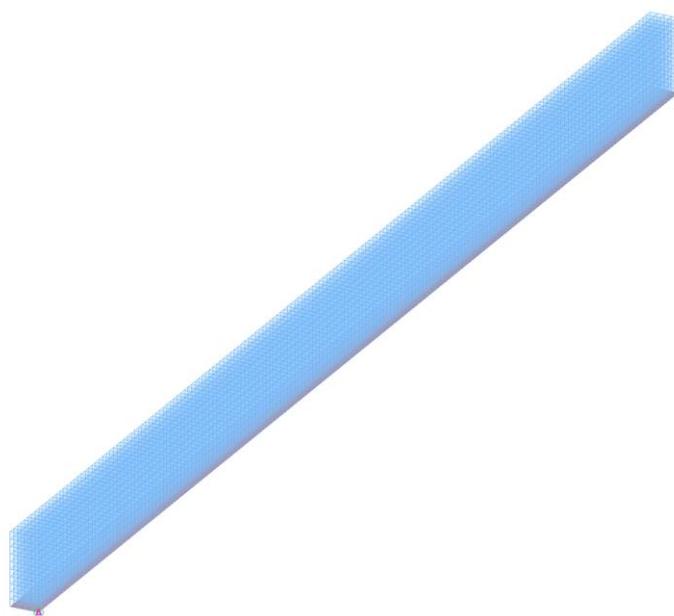
Рис. 4.27. Параметры триангуляции

Для создания триангуляции необходимо перейти к следующей функции: Схема → Арх. элементы → Пластина. Результат построения представлен на рис. 4.28.



*Рис. 4.28. Общий вид образующей после разбивки*

Построение расчетной модели объемными изопараметрическими конечными элементами осуществляется за счет перемещения плоской образующей. Для перемещения образующей и получения изопараметрических объемных конечных элементов следует перейти к функции Схема → Перемещение образующей . После задания требуемых параметров необходимо использовать сформированный фрагмент и установить его в произвольную точку расчетной схемы. Общий вид функции перемещения образующей представлен на рис. 4.29.



*Рис. 4.29. Результаты формирования модели*

После формирования модели требуется удалить все пластинчатые элементы, которые остались в расчетной модели.

Для задания системы армирования отдельными стержнями воспользуемся функцией Схема → Добавить КЭ, после чего соответственно добавим конечный элемент стержня.

Для задания соответствующих жесткостей системам армирования воспользуемся редактором сечений и жесткостей Редакторы → Редактор сечений и жесткостей и добавим соответствующее сечение системы армирования; для арматуры – Параметрическое сечение → Круг. Для задания физико-механических характеристик материалов следует перейти к редактору материалов (Редакторы → Редактор материалов). Древесину балочных конструкций задаем как ортотропный материал. Физико-механические характеристики древесины принять из п. 4.4.3.1. Материал системы армирования принять как изотропный. Модуль упругости для арматуры – 210 ГПа.

После задания соответствующих параметров необходимо назначить материалы жесткости элементам конструкции (Конструирование → Назначить сечение материал... → Использовать сечение и материал)  . Общий вид панели назначения жесткостей представлен на рис. 4.30.

После присвоения материалов и жесткостей задаем граничные условия. Для этого требуется перейти к функции Назначение → Связи. Общий вид панели назначения связей приведены на рис. 4.31. Далее необходимо выбрать узлы в соответствии с расчетной схемой и применить выбранные параметры.

На заключительном этапе следует сформировать загрузку конструктивного элемента расчетной нагрузкой.

Для формирования сетки загрузок переходим в редактор загрузок (Редакторы → Редактор загрузок), выбираем нормативную базу и создаем два статических загрузения (собственный вес и нагружения из п. 4.4.3.1) (рис. 4.32).

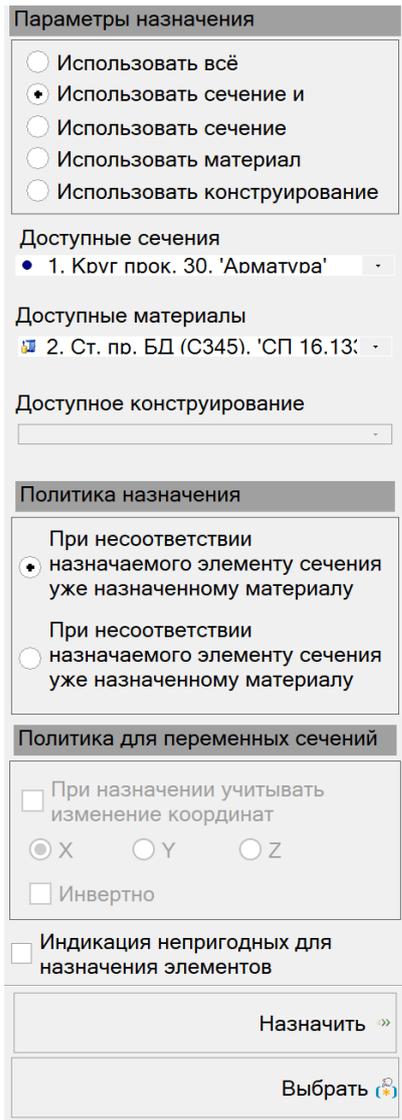


Рис. 4.30. Общий вид панели назначения жесткостей

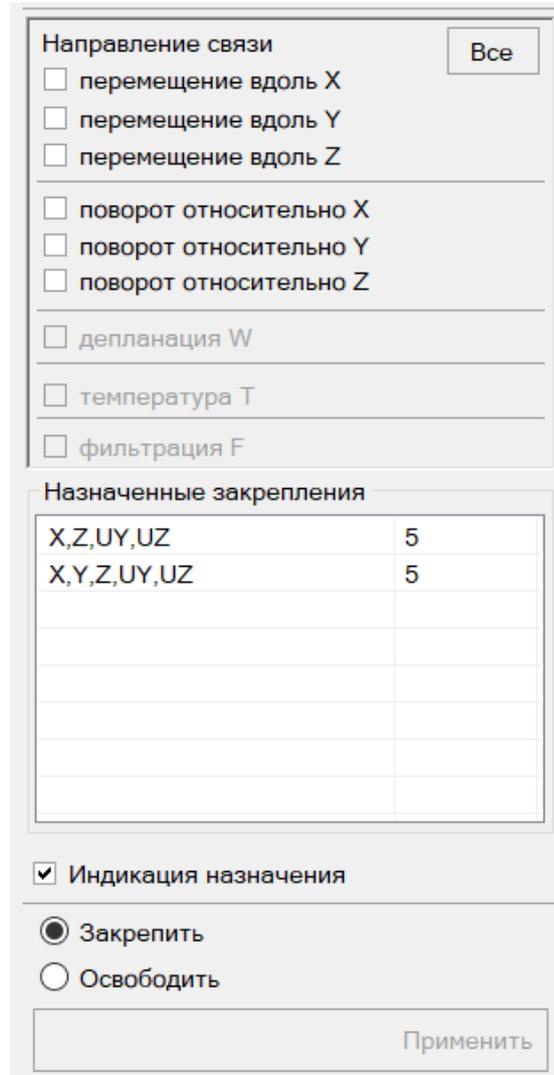


Рис. 4.31. Панель назначения связей

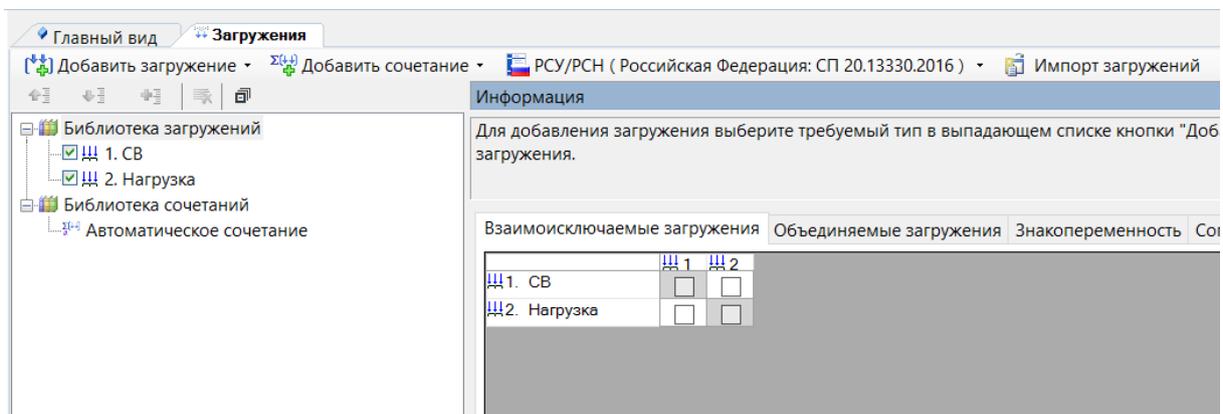


Рис. 4.32. Редактор загружений

Для задания действующей нагрузки в текущем загрузении необходимо воспользоваться функцией «Нагрузки» (Назначение → нагрузки ) и в соответствии с заданием выбрать требуемое загрузение.

Перед расчетом схемы требуется выполнить ее «упаковку» (Правка → Упаковать/Расшить ). Панель активного режима Упаковка/Расшивка предназначена для управления параметрами упаковки созданной схемы после выполнения различных операций с геометрией. После выполненных операций выполняем полный расчет конструкции (Расчет → Выполнить расчет )

После выполнения полного расчета оператор попадает в раздел анализа полученных результатов. Для анализа перемещений элементов расчетной схемы необходимо перейти к анализу узлов расчетной схемы (Результаты → Узлы ) (рис. 4.33). Для перехода между загрузениями следует воспользоваться раскрывающимся списком загрузений (  1... Статическое загрузение  ).

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции производится на каждом загрузении путем просмотра напряжений, действующих по ортогональным направлениям ( $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$ ,  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ) в активном режиме результатов по объемным элементам (Результаты → Объемные КЭ ) . Общий вид балочной конструкции с результатами нормальных напряжений  $N_y$  (вдоль волокон) и касательных  $T_{yz}$  представлен соответственно на рис. 4.34 и 4.35.

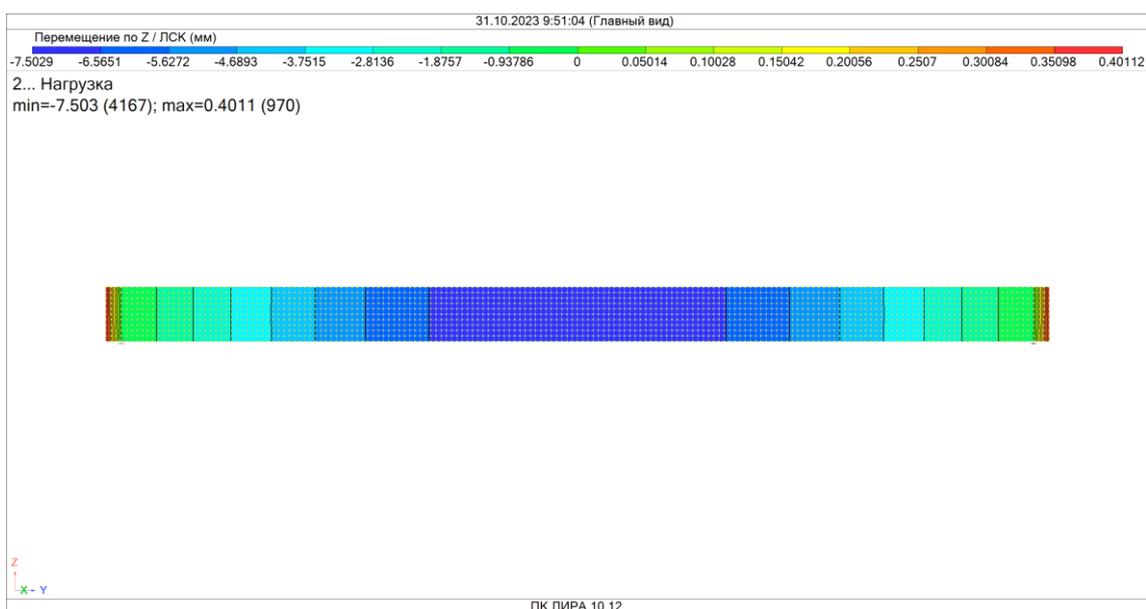


Рис. 4.33. Мозаика перемещений узлов вдоль оси Z

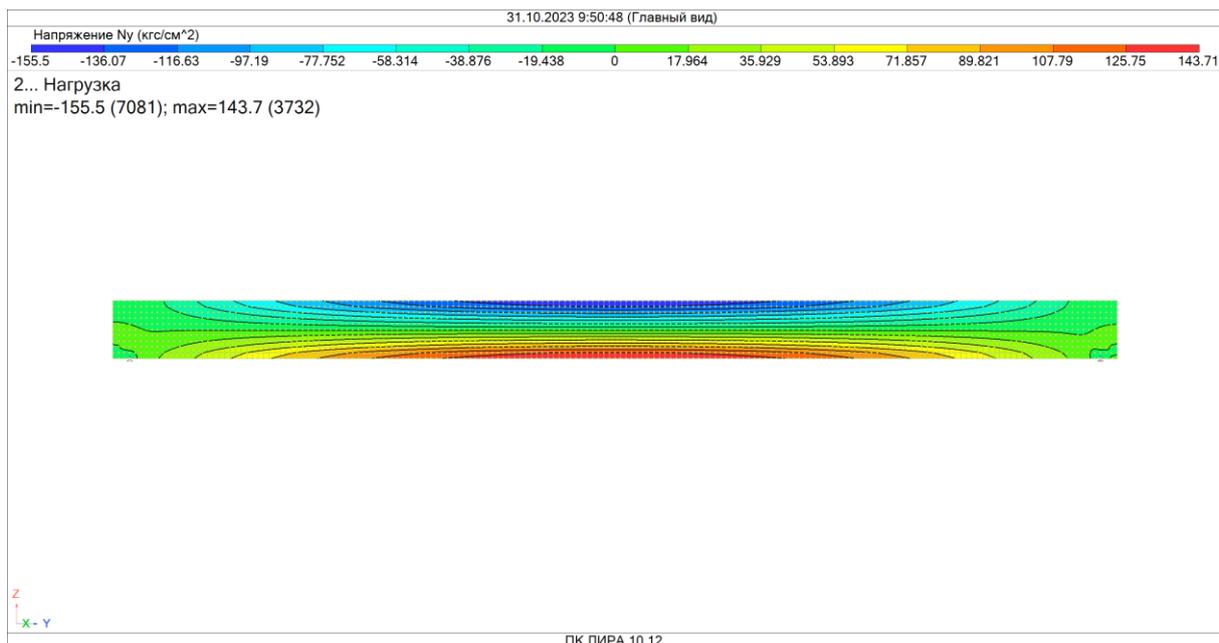


Рис. 4.34. Изополя нормальных напряжений  $N_y$ , кгс/м<sup>2</sup>

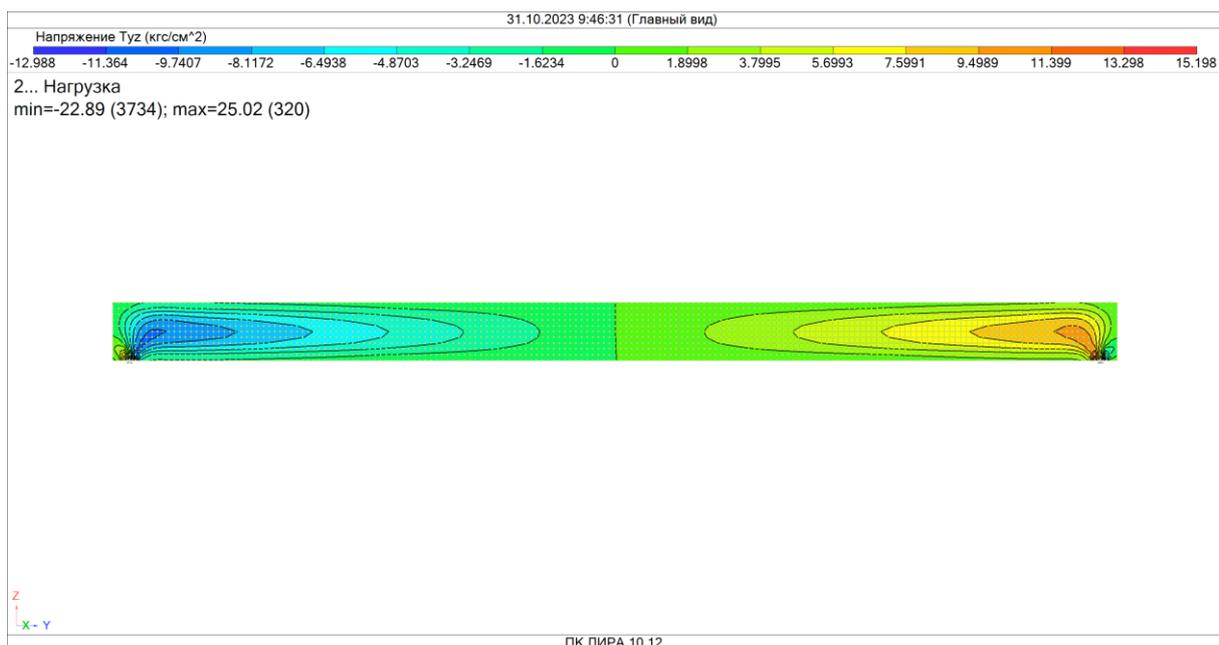


Рис. 4.35. Изополя касательных напряжений  $T_{yz}$ , кгс/м<sup>2</sup>

Данные, полученные в результате расчета, наглядно иллюстрируют, что касательные напряжения в инженерном расчете (см. п. 4.4.3.1.) на 2 – 4 % больше по сравнению с численным исследованием, а деформация в инженерном расчете (см. п. 4.4.3.1.) на 1 – 2 % больше по сравнению с численным исследованием.

#### 4.4.4. Усиление конструкций композитами

Исходные данные: требуется выполнить усиление балки, рассмотренной в подразд. 4.4.3.

Армирование растянутой зоны на части пролета производим полимерным композитом на основе однонаправленной углеродной ленты марки FibArm Tape 430/150 и матрицы ЭД-20.

Модуль упругости армирующего материала  $E_a = 245\,000$  МПа.

Расчет:

Расчетный изгибающий момент в середине пролета

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{1680 \cdot 8,7^2}{8} = 15\,894 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 15,89 \text{ тс} \cdot \text{м}.$$

Геометрические характеристики армированного композитными материалами сечения (рис. 4.36) определяем в следующей последовательности:

Коэффициент приведения к древесине

$$n_1 = \frac{E_a}{E_d} = \frac{51\,000}{10\,000} = 5,1,$$

где  $E_a$  – модуль упругости полимерного композита,  $E_d$  – модуль упругости древесины.

Площадь сечения армирующего материала и древесины

$$A_a = t b_{\text{л}} = 1,0(20 + 2,5 + 2,5) = 25 \text{ см}^2;$$

$$A_d = b h = 20 \cdot 50 = 1000 \text{ см}^2.$$

Коэффициент армирования

$$\mu_1 = \frac{A_a}{A_d} = \frac{25}{1000} = 0,025.$$

Приведенная площадь поперечного сечения

$$A_{\text{пр}} = A_d + n_1 \cdot A_a = 1000 + 5,1 \cdot 25 = 1128 \text{ см}^2.$$

Приведенный статический момент относительно оси, проходящей через нижнюю грань поперечного сечения:

$$S_{\text{пр}} = \frac{bh^2}{2} + \frac{\mu_1 n_1 b h (b_{\text{л}} - b)^2}{2 b_{\text{л}}} = \frac{20 \cdot 50^2}{2} + \frac{0,025 \cdot 5,1 \cdot 20 \cdot 50 (25 - 20)^2}{2 \cdot 25} = 25000 + 63,75 = 25064 \text{ см}^3.$$

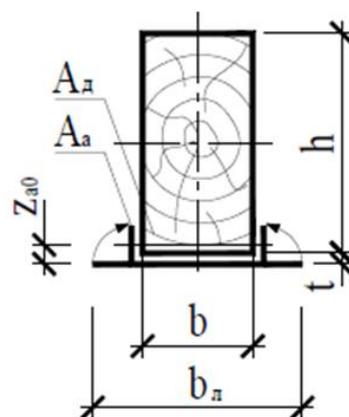


Рис. 4.36. Мозаика перемещений узлов вдоль оси  $Z$

Координата центра тяжести приведенного сечения

$$z_0 = \frac{S_{\text{пр}}}{A_{\text{пр}}} = \frac{25064}{1128} = 22,22 \text{ см.}$$

Статический момент инерции сечения армирующего материала относительно оси, проходящей через нижнюю грань:

$$S_a = \frac{t^2 b + t(b_{\text{л}} - b)^2}{2} = \frac{1,0^2 \cdot 20 + 1,0(25 - 20)^2}{2} = 22,5 \text{ см}^3.$$

Координаты центра тяжести сечения

$$z_{a0} = \frac{S_a}{A_a} = \frac{22,5}{25} = 0,9 \text{ см.}$$

Момент инерции сечения относительно центральной оси

$$I_{a0} = \frac{bt^3}{12} + btz_{a0}^2 + 2 \left[ t \frac{[b_{\text{л}} - b]^3}{12} + t \frac{(b_{\text{л}} - b)}{2} \left[ \frac{b_{\text{л}} - b}{4} - z_0 \right]^2 \right] = \frac{20 \cdot 1,0^3}{12} +$$
$$+ 20 \cdot 1,0 \cdot 0,9^2 + 2 \left[ 0,5 \frac{[25 - 20]^3}{12} + 0,5 \frac{(25 - 20)}{2} \left[ \frac{25 - 20}{4} - 22,22 \right]^2 \right] = 1,66 +$$
$$+ 16,2 + 2(0,65 + 550) = 1120 \text{ см}^4.$$

Приведенный момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения:

$$I_{\text{пр}} = \frac{b(h_c^3 + z_0^3)}{3} + (I_{a0} + \mu_1 b h (z_0 - z_{a0})^2) n_1 = \frac{20(27,78^3 + 22,22^3)}{3} +$$
$$+ (1120 + 0,025 \cdot 20 \cdot 50(22,22 - 0,9)^2) 24,5 = 216061 + 279527 =$$
$$= 495588 \text{ см}^4,$$

где  $h_c = h - z_0 = 50 - 22,22 = 27,78 \text{ см.}$

$I_a$  – собственный момент инерции армирующего материала.

Приведенный момент сопротивления соответственно для растянутой и сжатой зон

$$W_{\text{пр}}^p = \frac{I_{\text{пр}}}{z_0} = \frac{495588}{22,22} = 22303 \text{ см}^3;$$

$$W_{\text{пр}}^c = \frac{I_{\text{пр}}}{h_c} = \frac{495588}{27,78} = 17840 \text{ см}^3.$$

Условия прочности по нормальным напряжениям для растянутой и сжатой зон поперечного сечения балки

$$\sigma_c = \frac{M_{\max}}{W_{\text{пр}}^c} = \frac{15\,895 \cdot 100}{17\,840} = 88,6 \text{ кг/см}^2 \leq R_c^p = 115,8 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_p = \frac{M_{\max}}{W_{\text{пр}}^p} = \frac{15\,895 \cdot 100}{22\,303} = 71 \text{ кг/см}^2 \leq R_{a,p} = 8900 \text{ кг/см}^2,$$

где  $R_c^p$  – расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон;  $R_{a,p}$  – расчетное сопротивление армирующего материала растяжению.

Вывод: усиление деревянной клееной балки выполняем полимерным композитом толщиной 10 мм на основе однонаправленной углеродной ленты марки FibArm Tape 430/150 и матрицы ЭД-20 по нижней растянутой зоне.

### Вопросы для самоконтроля

1. Какие бывают виды усиления по влиянию на схему работы конструкции?
2. К какому типу усиления относится установка дополнительной самостоятельно работающей стропильной ноги?
3. Какие существуют виды прутковых протезов?
4. К какому типу усиления относится усиление конструкции подпружной цепью?
5. Опишите основные принципы проектирования и расчета усиления деревянных строительных конструкций.
6. Как определяется коэффициент надежности по ответственности  $\gamma_n$  в зависимости от уровня ответственности здания?
7. Какие клеевые составы рекомендуется использовать для вклейки арматурных стержней в древесину?
8. Охарактеризуйте признаки создаваемых схем в ПК ЛИРА 10.12.
9. Какова величина коэффициента длительности прочности древесины?
10. Как определяется коэффициент армирования древесины стальной арматурой?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техническая эксплуатация и обслуживание деревянных конструктивных элементов – это фундамент, на котором базируются такие важнейшие показатели любого эксплуатируемого элемента здания, как срок службы; оценка ремонтпригодности; расчетный срок эксплуатации; надежность деревянных конструкций; их физико-механические характеристики после продолжительного срока эксплуатации; состав проекта производства работ по усилению.

При установлении расчетных сроков службы деревянных конструкций учитывают их ремонтпригодность, основывающуюся на оценке технического состояния. Методика оценки ремонтпригодности включает следующие шаги: обследование технического состояния; расчет значения физического износа; оценка надежности; определение показателей ремонтпригодности; определение остаточного ресурса. По результатам оценки разрабатывают проект производства работ по усилению строительных конструкций из древесины. Усиление конструкций можно производить как с изменением, так и без изменения расчетной схемы.

Выбор того или иного метода усиления конструкций зависит от технического задания, в котором указаны возможные изменения объемно-планировочных решений, нагрузок и условий эксплуатации. При этом необходимо стремиться минимизировать затраты на ремонтно-восстановительные работы, например, максимально сохраняя существующие конструкции зданий и сооружений. При выборе способа

усиления конструкций следует отдавать предпочтение индустриальным методам, которые не требуют разгрузки конструкций, а также методам, связанным с изменением статической схемы конструкции, использованием предварительного напряжения, высокопрочным сталям, композитным материалам, полимерфибробетону, напрягающим цементам и другим эффективным материалам.

Таким образом, система технической эксплуатации и усиления строительных конструкций на основе древесины является важной составляющей обеспечения безаварийной работы деревянных конструктивных элементов после продолжительного срока эксплуатации, так как позволяет восстанавливать работоспособность как конструктивных элементов в отдельности, так и здания в целом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ВСН 53-86 (р). Правила оценки физического износа жилых зданий. – М. : ФГУП ЦПП, 2007 – 80 с.
2. ВСН 58-88(р). Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 42 с.
3. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М. : Стандартинформ, 2014. – 55 с.
4. ГОСТ 16483.0-89 (СТ СЭВ 6470-88). Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 11 с.
5. ГОСТ 27751 – 2014. Надежность строительных конструкций и оснований. – М. : Стандартинформ, 2015. – 23 с.
6. СП 64.13330.2017 СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. – М. : Стандартинформ, 2017. – 105 с.
7. СП 382.1325800.2017. Конструкции деревянные клееные на клеенных стержнях. Методы расчета. – М. : Стандартинформ, 2018. – 40 с.
8. ГОСТ 20850–2014. Конструкции деревянные клееные несущие. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2015. – 18 с.
9. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М. : ГОССТРОЙ России, 2004. – 31 с.
10. СП255.1325800.2016. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения. – М. : М-во стр-ва и жилищно-коммунал. хоз-ва Рос. Федерации, 2016. – 62 с.
11. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – М. : ЦНИИПРОМЗДАНИЙ, 2001. – 101 с.
12. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. – М. : ЦНИИПРОМЗДАНИЙ, 1997. – 275 с.

13. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений : метод. рек. – М. : М-во стр-ва и жилищно-коммунал. хоз-ва Рос. Федерации, 2018. – 50 с.

14. Методика определения физического износа гражданских зданий. – М. : М-во коммуна. хоз-ва РСФСР, 1979. – 81 с.

15. *Дайдбеков, С. Д.* Восстановление деревянных покрытий и перекрытий / С. Д. Дайдбеков. – М. : М-во коммуна. хоз-ва РСФСР, 1962. – 125 с.

16. *Нечаев, Н. В.* Капитальный ремонт жилых зданий / Н. В. Нечаев. – М. : Стройиздат, 1990. – 206 с.

17. Техническая эксплуатация жилых зданий : учеб. для строит. вузов / С. Н. Нотенко [и др.]. – М. : Высш. шк., 2000. – 429 с.

18. *Перельмутер, А. В.* Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер. – Киев : Изд-во Укр. НИИПСК, 2000. – 254 с. – ISBN 966-7589-10-2.

19. Техническая эксплуатация и ремонт зданий и сооружений : учеб. пособие / С. И. Рощина [и др.]. ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2009. 200 с. – ISBN 978-5-89368-981-5.

20. *Рощина, С. И.* Эксплуатация, ремонт и обслуживание зданий и сооружений : учеб. пособие / С. И. Рощина ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2005. – 108 с. – ISBN 5-89368-622-5.

21. *Черных, А. Г.* Оценка остаточного ресурса деревянных конструкций по величине физического износа / А. Г. Черных, Д. И. Корольков, Е. В. Данилов // Жилищное строительство. – 2022. – № 4. – С. 66 – 72.

22. *Шмелев, Г. Д.* Физический износ, текущий и капитальный ремонты жилых зданий / Г. Д. Шмелев, Т. А. Безсуднова, Н. А. Алашников // Управление социально-экономическими системами: теория, методология : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и просвещение, 2017. – С. 28 – 31.

23. *Шубин, Л. Ф.* Примеры расчетов по организации и управлению эксплуатацией зданий : учеб. пособие для вузов / Л. Ф. Шубин, О. В. Дятюк. – М. : Стройиздат, 1991. – 280 с.

*Учебное электронное издание*

ЛУКИН Михаил Владимирович  
ЛИСЯТНИКОВ Михаил Сергеевич  
ПОПОВА Марина Владиславовна  
и др.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
И УСИЛЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебное пособие

Редактор А. П. Володина  
Технический редактор Ш. Ш. Амирсейидов  
Корректор О. В. Балашова  
Компьютерная верстка Е. А. Герасиной  
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

**Системные требования:** Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;  
дисковод CD-ROM.

**Тираж 9 экз.**

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
Изд-во ВлГУ  
rio.vlgu@yandex.ru

Институт архитектуры, строительства и энергетики  
кафедра строительных конструкций  
sk@vlsu.ru