

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Строительный факультет
Кафедра строительных конструкций

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

~~«Строительные конструкции»~~

А.Б.Шурин

«28» 12 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан строительного факультета

С.М.Семенюк

«28» 12 2022 г.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
по учебной дисциплине

«КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС»

для специальности (направления специальности):

1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

Составители: Найчук Анатолий Яковлевич, доктор техн. наук, доцент,
профессор кафедры СК
Захаркевич Иван Филиппович, канд. техн. наук, доцент, доцент
кафедры СК
Жук Василий Васильевич, канд. техн. наук, доцент, доцент
кафедры СК
Маркечко Екатерина Владимировна, старший преподаватель
кафедры СК

Рассмотрено и утверждено

на научно-методическом совете БрГТУ от 29.12.2022, протокол N 3

рез. N УМК 22/23-72

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1 Актуальность изучения дисциплины

Дисциплина «Конструкции из дерева и пластмасс» является одной из ведущих дисциплин, формирующей инженерный подход к пониманию устройства и действительной работы конструктивных систем зданий и сооружений и развивающей навыки инженерного анализа, конструирования и расчета деревянных конструкций.

Применительно к современным реалиям, когда в Республике Беларусь ведется гармонизация многих нормативных документов в области строительства и выпускникам ВУЗов строительных специальностей, в своей практической деятельности придется применять единые с европейскими (Еврокодами) нормы, курс «Конструкции из дерева и пластмасс» будет в значительной степени способствовать повышению качества молодых специалистов-строителей, расширению их возможностей в проектных и строительных организациях при работе по совместным проектам с зарубежными фирмами и инвесторами, облегчит процесс их адаптации.

1.2 Цель дисциплины

Дать студентам знания, необходимые для понимания работы конструктивных элементов и систем, развития навыков инженерного анализа, конструирования и расчета строительных деревянных конструкций, подготовка студентов к профессиональной деятельности в области проектирования деревянных конструкций и конструкций из пластмасс.

1.3 Задачи дисциплины

Задачами преподавания дисциплины являются:

- овладение студентами принципами проектирования, методами компоновки и технико-экономического анализа конструкций из дерева и пластмасс;
- формирование у студентов навыков конструирования и расчета для решения конкретных инженерных задач с использованием норм проектирования, стандартов, справочников, средств автоматизации проектирования по учебной дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» по специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство».

В результате освоения дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» студент должен знать:

- физико-механические свойства древесины;
- способы защиты древесины от возгорания и биоповреждений;
- принцип расчета и конструирования деревянных и пластмассовых конструкций;
- основные виды конструкций из дерева и пластмасс, в том числе пневмоконструкций;
- основы технологии изготовления деревянных конструкций;
- основы эксплуатации, обследования и усиления деревянных конструкций.

Студент должен уметь:

- выбирать рациональный вид деревянных конструкций;
- грамотно выполнять расчет и конструирование деревянных конструкций;
- правильно выбирать при проектировании вид пластмассы;
- обосновывать технологию изготовления и монтажа деревянных конструкций.

Студент должен владеть:

- методиками расчета деревянных конструкций зданий и сооружений;
- методикой обследования деревянных конструкций;
- методикой разработки проекта усиления деревянных конструкций или их защиты от возгорания и биоповреждений.

1.4 Краткая характеристика электронного учебно-методического комплекса

Настоящий учебно-методический комплекс по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» предназначен для студентов, осваивающих содержание образовательной программы высшего образования I степени, обеспечивающей получение квалификации инженера-строителя.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы научно-методического обеспечения образования и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм получения образования по изучению дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министра образования Республики Беларусь от 26 июня 2011 г., № 167 и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство».

Учебно-методический комплекс разработан с учетом основных положений концепции обучения в системе непрерывного образования Республики Беларусь, концепции современного языкового образования, а также в соответствии со следующими нормативными документами:

- образовательного стандарта Республики Беларусь. Высшее образование. Первая ступень. Специальность 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство». Квалификация «инженер-строитель». Утвержден и введен в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь 24.08.2012 г. № 108;

- учебной программы высшего образования второй ступени (магистратуры) для специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»;

- порядка разработки и утверждения учебных программ и программ практики для реализации содержания образовательных программ высшего образования (утверждено Министерством образования Республики Беларусь от 06.04.2015 г).

1.5 Цели ЭУМК

Основными целями ЭУМК являются:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательным стандартам высшего образования специальностей специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», а также учебно-программной документации образовательных программ высшего образования. Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

1.6 Структура учебно-методического комплекса по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»

1. Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектами лекций, учебным пособием, набором презентаций и видеоматериалами.

2. Практический раздел ЭУМК содержит материалы для проведения практических и лабораторных учебных занятий, а так же курсового проектирования и представлен в виде методических указаний для их выполнения, учебного пособия по дисциплине и видеоматериалами.

3. Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы для итоговой аттестации (экзаменационные вопросы), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

4. Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс», основную и дополнительную литературу, в том числе иностранную, графические плакаты.

1.7 Рекомендации по организации работы с ЭУМК

При работе с ЭУМК по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» рекомендуется:

- лекции проводить с использованием представленных в ЭУМК презентаций, персонального компьютера и мультимедийного проектора; при подготовке к экзамену, практическим, лабораторным и занятиям по курсовому проектированию студенты могут использовать представленные в ЭУМК конспекты лекций, методические пособия, набор презентаций и электронные материалы ТНПА и учебной и научной литературы, приведенных во вспомогательном разделе ЭУМК;

- практические занятия и консультации по курсовому проектированию проводятся в аудиториях специализированной лаборатории кафедры строительных конструкций «ЛИПИСК» и компьютерном классе с использованием представленных в ЭУМК методических указаний, а также систем автоматизи-

рованного проектирования ЛИРА-САПР, SCAD-Office, Sofistik;

– лабораторные занятия проводятся в аудиториях специализированной лаборатории кафедры строительных конструкций «ЛИПИСК» и испытательном центре УО БрГТУ;

– экзамен проводится в аудитории, вопросы приведены в разделе контроля знаний ЭУМК.

II ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «КОНСТРУКЦИИ ДЕРЕВА И ПЛАСТМАСС»

2.1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Дисциплина «Конструкции из дерева и пластмасс» участвует в формировании следующих компетенций:

– АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

– АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

– АК-4. Уметь работать самостоятельно.

– АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

– АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

– СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

– СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.

– СЛК-6. Уметь работать в команде.

– СЛК-7. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности.

– ПК-1. Знание нормативной базы в области инженерных конструкций, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем.

– ПК-2. Владение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования.

– ПК-3. Способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы, контролировать соответствие разрабатываемых проектов и технической документации заданию, стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

– ПК-4. Способность участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности.

– ПК-5. Знание научно-технической информации отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности.

– ПК-6. Владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований, владение методами испытаний строительных конструкций и изделий, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам.

– ПК-7. Способность составлять отчеты по выполненным работам, участвовать во внедрении результатов исследований и практических разработок.

– ПК-10. Проектировать конструктивные схемы зданий и сооружений различного функционального назначения в составе группы специалистов или самостоятельно.

– ПК-11. Разрабатывать проекты организации строительства, проекты производства работ и технологические карты на отдельные виды работ.

– ПК-12. Выполнять расчеты и конструирование строительных конструкций с использованием методов автоматизированного проектирования.

– ПК-13. Осуществлять оценку эффективности применения средств механизации при проектировании технологии и организации строительно-монтажных работ.

– ПК-14. Определять актуальные направления научных исследований в области строительства с целью внедрения в практику эффективных строительных материалов, конструкций и технологий.

– ПК-15. Организовать работу по подготовке рефератов, научных статей и заявок на изобретения в области промышленного и гражданского строительства.

– ПК-20. Анализировать оперативную информацию о процессах производства работ на объекте и вырабатывать решения по их оптимизации.

– ПК-21. Осуществлять операционный контроль качества выполнения строительно-монтажных работ в соответствии с проектной и нормативной документацией.

– ПК-24. Разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований.

– ПК-26. Работать с научной, технической юридической литературой в области промышленного и гражданского строительства.

2.2 Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Для изучения учебной дисциплины необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

1) «Соппротивление материалов» и «Теоретическая механика»

Основы теории напряженно-деформированного состояния. Растяжение-сжатие. Плоское напряженное состояние. Геометрические характеристики сечений. Изгиб. Кручение. Сложное сопротивление. Статика и ее основные понятия. Динамика и устойчивость.

знания:

- методов и средств физического и математического моделирования работы материалов и строительных конструкций под нагрузкой;
- методов определения напряженно-деформированного состояния и внутренних усилий в элементах конструкций;
- общих теорем сопротивления материалов и теоретической механики, определяющих равновесие внешних и внутренних сил;
- методов расчета элементов строительных сооружений на прочность, деформативность и устойчивость;
- создание простых приемов расчета элементов сооружений с использованием теоретических гипотез и экспериментальных данных;
- основы теории надежности и оптимальное проектирование строительных конструкций;
- методов исследования напряженно-деформированного состояния в различных материалах и конструкциях;

умения:

- выявлять наиболее эффективные разработки среди существующих по данной проблеме;
- составлять рациональные расчетные схемы, обеспечивающие достаточную степень точности в сочетании с простотой инженерного расчета;
- выполнять инженерные проверочные и проектировочные расчеты элементов конструкций и сооружений в соответствии с выбранными критериями и осуществлять анализ полученных решений;
- исследовать напряженное и деформированное состояние в точке;
- использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы, системы автоматизированного проектирования, стандартные пакеты автоматизации исследований;

навыки:

- методами расчета элементов строительных конструкций при простых и сложных видах сопротивления;
- способами анализа напряженного и деформированного состояний материала конструкций;
- принципами по определению видов сопротивления элементов строительных конструкций.
- испытаний строительных конструкций и изделий, методики постановки и проведения экспериментов по заданным методикам.

2) «Строительные материалы»

Основные свойства древесины. Диаграммы и работы древесины под нагрузкой. Конструкционные пластмассы в строительстве, их свойства.

знания:

- теоретические основы, позволяющие прогнозировать свойства древесины и их поведение под нагрузкой;
- современные методы исследования прочностных и деформационных свойств строительных материалов;
- основные свойства строительных материалов; методы их исследований

в соответствии с действующими ТНПА; влияние разнообразных факторов на свойства строительных материалов;

- технологию переработки строительных материалов на основе древесины, их исходную сырьевую базу; технологическое оборудование, механизацию и автоматизацию производственных процессов;

- использование отходов промышленности, экологические аспекты производства строительных материалов;

умения:

- ориентироваться в технологии получения строительных материалов на основе древесины;

- выполнять исследования свойств строительных материалов в соответствии с действующими стандартами;

навыки:

- владеть полученными базовыми научно-теоретическими знаниями и уметь применять их для решения теоретических и практических профессиональных задач;

- испытаний строительных конструкций и изделий, методики постановки и проведения экспериментов по заданным методикам;

- системным и сравнительным анализом; исследовательскими навыками; междисциплинарным подходом при решении проектных задач в области строительства; навыками самостоятельного получения знаний и повышения квалификации.

3) «Строительная механика»

Кинематический анализ сооружений. Расчетные схемы сооружений. Расчет статически определимых и неопределимых систем. Плоские фермы. Арки и рамы. Расчет сооружений по предельным состояниям.

знания:

- современных тенденций при проектировании и эксплуатации строительных конструкций;

- методов и средств физического и математического (компьютерного) моделирования работы строительных конструкций;

- классификации стержневых систем, отличительных свойств статически определимых и неопределимых систем;

- методов определения внутренних усилий в элементах стержневых систем (многопролетные балки, арки, фермы, рамы);

- методов построения линий влияния и расчёт конструкций на подвижную нагрузку;

- общих теорем строительной механики, определяющих равновесие внешних и внутренних сил;

- приемов определения перемещений в статически определимых и неопределимых системах;

- основных положений расчета статически неопределимых систем методом сил;

- основных положений расчета статически неопределимых систем мето-

дом перемещений;

- критериев определения устойчивости упругих систем, формы потери устойчивости сжатого стержня;

- определять внутренние усилия, по линиям влияния для элементов решетки в простых и шпренгельных фермах;

- решать задачи по определению внутренних усилий в статически неопределимых рамах методом сил и методом перемещений;

- использовать теорию матриц в расчете статически неопределимых систем методом сил и методом перемещений;

- рассчитывать рамы на устойчивость методом перемещений;

умения:

- выявлять наиболее эффективные разработки среди существующих по данной проблеме;

- использовать универсальные и специализированные программно-вычислительные комплексы, системы автоматизированного проектирования, стандартные пакеты автоматизации исследований;

- исследовать геометрическую неизменяемость стержневых систем;

- строить эпюры и линии влияния силовых факторов в стержневых системах;

- определять не выгоднейшее положение нагрузки на сооружении;

- использовать теорию матриц для расчета статически определимых балок и рам;

- определять внутренние усилия, по линиям влияния для элементов решетки в простых и шпренгельных фермах;

- решать задачи по определению внутренних усилий в статически неопределимых рамах методом сил и методом перемещений;

- использовать теорию матриц в расчете статически неопределимых систем методом сил и методом перемещений;

- рассчитывать рамы на устойчивость методом перемещений;

- определять частоты и формы свободных колебаний статически определимых стержневых систем;

навыки:

- владения основными методами решения задач строительной механики.

4) «Архитектура»

Общие сведения о зданиях и сооружениях, требования, предъявляемые к ним. Индустриализация строительства. Архитектурно-строительный проект и методы его разработки. Техничко-экономическая оценка зданий и их конструктивных элементов. Объемно-планировочные и конструктивные решения гражданских и промышленных зданий и сооружений.

знания:

- нормативной базы в области проектирования;

- функциональных основ проектирования зданий, особенностей работы современных несущих и ограждающих конструкций, приемов и методов оценки объемно-планировочных и конструктивных решений;

- основы систем индустриализации и типизации в строительстве, основные сведения о классификации зданий, о конструктивных системах и схемах, частях и конструктивных элементах гражданских и промышленных зданий;

- методов архитектурного проектирования строительных конструкций;

- современных тенденции при проектировании и эксплуатации строительных конструкций;

- формы отчетов по выполненным работам;

умения:

- разрабатывать конструктивные решения простейших зданий;

- выявлять наиболее эффективные разработки среди существующих по данной проблеме;

- составлять отчеты по выполненным работам;

навыки:

- контроля качества строительства простейших зданий в целом и конструирования ограждающих конструкций в отдельности;

- участия в проектировании и изыскании строительных конструкций;

- пользования научно-технической информации при проектировании строительных конструкций;

- участия во внедрении результатов исследований и практических разработок.

5) «Основы САПР»

знания:

- назначений, особенностей, приемов работы в среде конструкторских САПР;

- способов графического представления пространственных образов;

- теоретических и практических навыков при работе на ПК, правильно выбирать программное обеспечение при работе на компьютере, методику построения графического изображения на плоскости и в трехмерном пространстве;

- современных тенденций при проектировании и эксплуатации строительных конструкций;

умения:

- применять различные системы автоматизированного проектирования в своей профессиональной деятельности;

- правильно выбирать программный продукт и грамотно использовать его при проектировании;

- проектировать здания и сооружения любой сложности в двухмерном и трехмерном пространстве;

- выявлять наиболее эффективные разработки среди существующих по данной проблеме;

навыки:

- моделирования и расчета строительных конструкций с применением средств САПР;

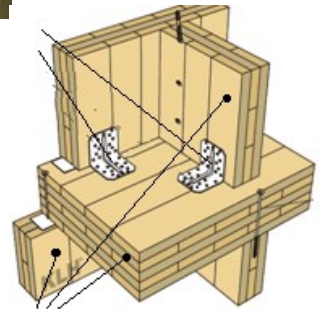
- построения и оформления рабочих чертежей в AutoCAD или других

графических средах;

– владения нормативными актами и государственными требованиями в области проектирования;

– навыками использования научно-технической информации при проектировании строительных конструкций.

Тема лекции «Введение. Древесина и пластмассы как конструкционный материал»





План лекции

- 1 Основная учебная и нормативная литература**
- 2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций**
- 3 Достоинства и недостатки древесины**
- 4 Свойства древесины как конструкционного строительного материала**
- 5 Конструкционные строительные пластмассы**
- 6 Способы защиты древесины от возгорания и биологического повреждения**

Лесные запасы Республики Беларусь

Площадь лесов Республики Беларусь составляет 9696,8 тыс. га, т.е. около 40,1 % от всей территории страны. По запасам растущей древесины в пересчете на одного жителя, Беларусь входит в первую десятку лесных государств Европы. Объем заготавливаемой древесины в 2020 г составил 21,2 млн м³ в год. Сопоставляя ежегодный объем заготовки древесины с ее приростом, первый может быть увеличен до 30 млн м³.



1 Основная учебная и нормативная литература

Слущкоухов Ю.В. и др. (Карлсен Г.Г. ред.). **“Конструкции из дерева и пластмасс”**: Учебник – М.: Стройиздат, 1986, - 543 с.

Арленинов Д.К., Буслаев Ю.Н., Игнатъев В.П., Романов П.Г., Чахов Д.К. **“Конструкции из дерева и пластмасс”**: Учебник - М.: Изд-во АСВ, 2002. – 280 с.

Найчук Я.Я., Захаркевич И.Ф., **“Ограждающие конструкции покрытий из древесины и плитных материалов”**:
Учебно-метод. пособие. – Брест.: Изд-во БрГТУ, 2021, - 67 с.

Найчук Я.Я., Захаркевич И.Ф., Шурин А. Б. **“Рамы из древесины и материалов на ее основе”**:
Учебно-метод. пособие. – Брест.: Изд-во БрГТУ, 2022, - 60 с.

Найчук Я.Я., Захаркевич И.Ф., Шурин А. Б. **“Арки из древесины и материалов на ее основе”**: Учебно-метод. пособие. – Брест.: Изд-во БрГТУ, 2022, - 70 с.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

Найчук Я.Я., Захаркевич И.Ф., Шурин А. Б. “**Арки из древесины и материалов на ее основе**”: Учебно-метод. пособие. – Брест.: Изд-во БрГТУ, 2022, - 70 с.

К.-Г. Гётц, Д. Хоор, К. Мёлер, Ю. Наттерер.

Атлас деревянных конструкций / Пер. с нем.Н.И. Александровой; под ред. В.В. Ермолова.- М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.

Нормативная литература

1. Деревянные конструкции (**СП 5.05.01-2021**): Минстройархитектуры, Минск,- 2021, –115 с.
2. Древесина конструкционная. Классы прочности (**СТБ EN 338-2011**): Госстандарт, Минск,- 2011:- 11 с.
3. Конструкции деревянные. Древесина конструкционная цельная и клееная многослойная. Определение некоторых физических и механических свойств : **СТБ EN 408-2012**. – Минск : Госстандарт, 2012. – 32 с.
4. Конструкции деревянные. Древесина клееная многослойная. Классы прочности и определение характеристических значений : **СТБ EN 1194-2011**.. – Минск : Госстандарт, 2011. – 13 с.



Термины и определения:

- **Строительное сооружение:** Все, что построено или является результатом строительных работ.

- **Строительный материал:** Материал, предназначенный для строительства объектов (бетон, сталь, древесина и т.п.).

- **Конструкция:** Организованная совокупность соединенных между собой частей здания, сооружения, совместно выполняющих функции восприятия нагрузок и обеспечения требуемой жесткости.

- **Деревянная строительная конструкция:** Часть здания или сооружения определенного функционального назначения, состоящая преимущественно из деревянных элементов, взаимно связанных в процессе выполнения строительных и монтажных работ.

- **Элемент конструкции:** Физически различимая составная часть конструкции (колонна, балка, плита, свая).

- **Конструктивная система:** Совокупность несущих элементов здания или инженерного сооружения гражданского назначения и способа, посредством которого эти элементы работают совместно.

- **Расчетная модель конструкции:** Идеализация конструктивной системы, используемая для расчетных целей.

- **Соппротивление:** Способность элемента конструкции или ее части либо поперечного сечения элемента конструкции или ее части выдерживать воздействия без механического разрушения (сопротивление изгибу, сопротивление продольному изгибу, сопротивление растяжению).

- **Прочность:** Механическое свойство материала, характеризующее его способность сопротивляться без разрушения внешним воздействиям. Прочность выражается в единицах напряжения.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций.

Первобытные люди строили из деревянных стволов каменными топорами небольшие примитивные жилища на земле и на сваях, небольшие ограды и мосты.

В Древнем Риме строили деревянные дома, храмы и мосты через крупные реки. Например, легионами Цезаря был в I в. построен крупный мост через р. Рейн. До наших дней сохранились выдающиеся деревянные храмы, построенные в средние века в Китае и Японии с использованием бамбуковой древесины.



Пятиярусная пагода храма Хорю-дзи высотой 32,45 м, самое древнее деревянное сооружение Японии (700 г.) - Храм процветающей дхармы) — буддийский храм в городе Икаруга, префектура Нара, Япония.

В средневековой Европе широко использовались деревянные стропила крыш. В XVI в. итальянский архитектор Палладио использовал подкосные конструкции и стропильные фермы.

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций.

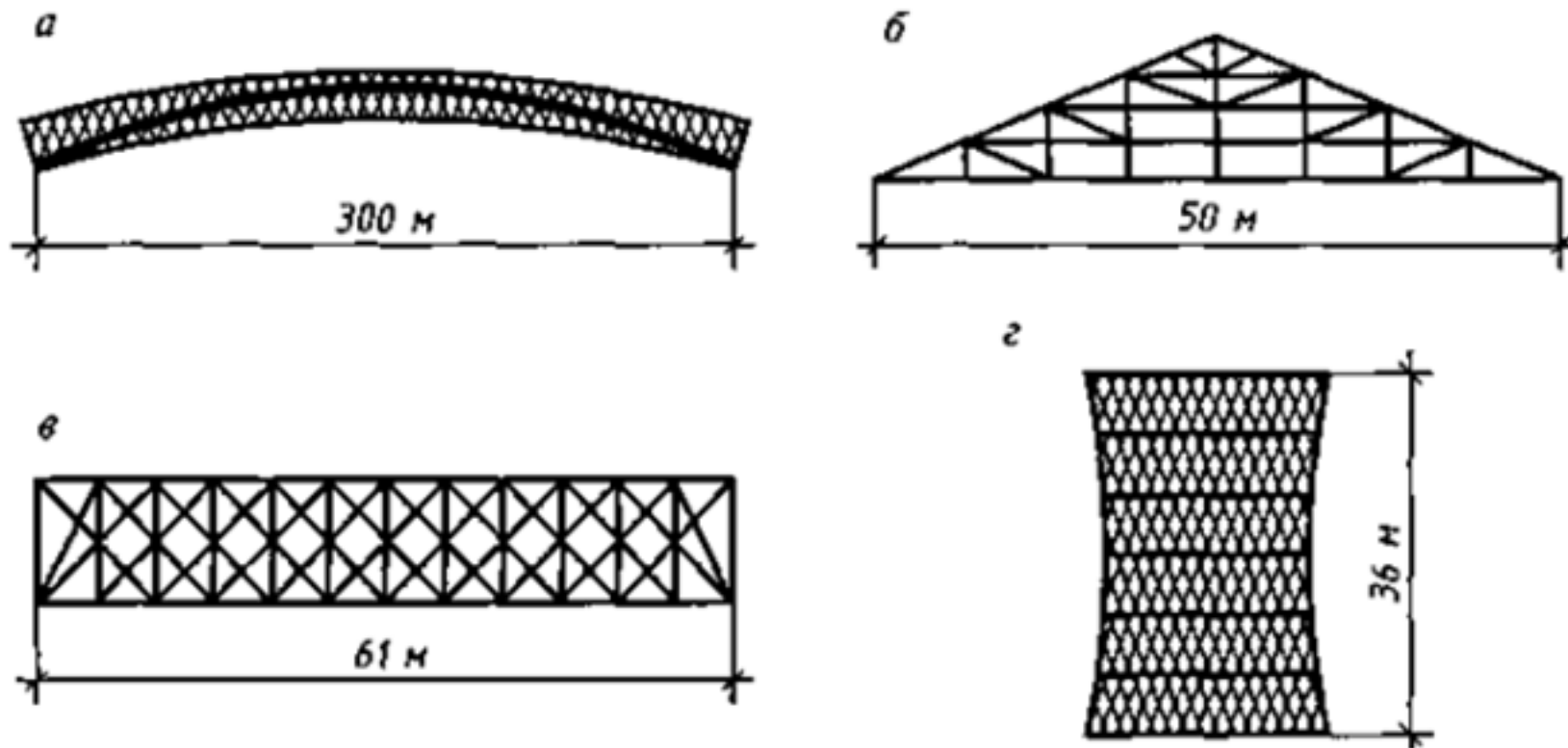


Рисунок 1 – Схемы выдающихся древних деревянных конструкций, созданных в России: а – проект моста через р. Неву в Санкт-Петербурге (авт. И. П. Кулибин); б – ферма покрытия Московского Манежа (авт. А. А. Бетанкур); в – ферма моста через р. Мету на Московско-Петербургской железной дороге (авт. Д. И. Журавский); г – сетчатая башня в г. Орске (авт. В. Г. Шухов)



Автор: кафедра строительных конструкций БрГУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций лек.

Основные виды храмов

Существует 5 основных видов храмов.

1) **Клетский храм** - прямоугольный сруб-клеть, покрытый двускатной кровлей, на которой возвышается маковка с крестом - форма простейшая и самая древняя.

2) **Шатровый храм. Шатровая церковь** - одна из наиболее распространенных и самобытных форм древнерусского зодчества. В ней нашли отражение традиционные принципы возведения сторожевых оборонительных сооружений.

"Идея торжества и мощи воплощена в стремительном взлете шатра, чудного своей "высотой, и красотой, и светлостью".

Варианты шатрового храма:

шатровый восьмимерик с прирубам ("восьмерик от земли"), создающий образ храма-башни; восьмимерик на крестообразном основании;

восьмерик на четверике, когда прямоугольное в плане здание выше переходит в восьмиугольный сруб-восьмерик, перекрытый шатром, - самый распространенный.

Иногда шатер венчает не восьмимерик, а сруб, имеющий шесть, а иногда десять сторон.

Традиционное завершение шатра - луковичная главка с крестом, установленная на круглом барабане.

3) **Многошатровый храм** представляет собой сочетание срубов - восьмигранного и нескольких восьмимериков на четверике.

4) **Ярусный храм.** Ярусный храм - нарастание уменьшающихся четвериков или восьмимериков.

5) **Многоглавый храм** венчается комбинацией из множества глав.



Шатровые храмы имели то главное преимущество перед клетскими, что были обыкновенно очень большими по объему и имели значительную высоту. Термин «деревянный верх» включает в себе устройство главного помещения в виде многогранной башни¹. Кровельное покрытие таких храмов устраивалось «кругло» (многогранником), а форма получила название — «шатер». Успенская церковь села Космозеро. В XVII–XVIII вв. распространилась форма: четверик — восьмерик — шатер.



Исследователь древней церковной архитектуры М. Красовский разделял архитектуру 17-18 вв. на четыре группы: храмы «кубастые», храмы пятиглавые, многоверхие и многоярусные.



Ярким примером пятиглавого храма служит **Церковь Преображения** 1679 года в селе **Ижма** в Архангельской губернии. Это клетской храм, крытый высоким «колпаком», из которого вырастали пять глав



Церковь Преображения (1714) в бывшем **Кижском погосте**, на одноименном острове Онежского озера является самым ярким из сохранившихся примером деревянного зодчества Руси. В плане имеет крест в восьмиугольнике, увенчанный двадцатью двумя главами (общая высота 35 м)



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций

В настоящее время использование деревянных и дощатоклееных конструкций дает возможность создания уникальных и очень интересных зданий и сооружений. Яркий тому пример – это Плаза-де-ла-Энкарнасьон (Зонтик Метрополь) в старинной Севилье (Испания) украшает сооружение очень примечательное, а по некоторым параметрам, просто выдающееся – Metropol Parasol, уникальное строение, одна из самых больших деревянных конструкций в мире.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций



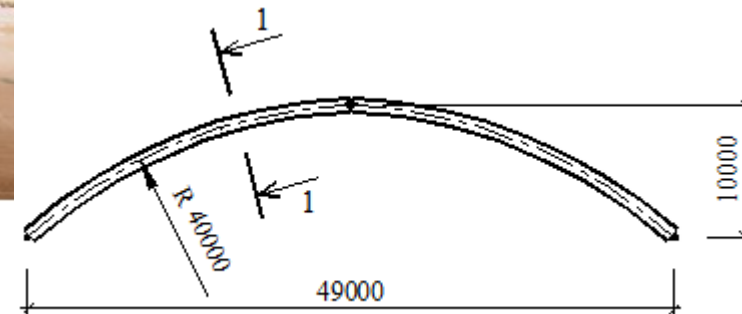
Обзорная башня Пирамиденкогель в Австрии – уникальная башня высотой 100 м из дерева и стали, так называемая «лестница в небо». Конструкция из клееного лиственничного бруса обеспечивает оригинальную форму здания. Располагает детской горкой длиной 120 м

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций



Легкоатлетический манеж
спортивного общества
«Динамо» в Гомеле

Год постройки: 1980



Несущими конструкциями покрытия служат трехшарнирные клееные деревянные арки кругового очертания пролетом 49 метров со стрелой подъема 10 метров. Шаг арок 6 метров, сечение - 200 x 1100 мм. Между собой арки связываются распорками. Покрытие решено в виде однослойного косога настила из досок толщиной 22 мм, опирающегося на деревянные прогоны.

Кровля принята утепленной, вентилируемой, с покрытием из оцинкованной стали.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.
2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций



Крытый рынок на 600 торговых мест в Гомеле

Год постройки: 1986



Несущими конструкциями покрытия служат трехшарнирные клееные деревянные арки кругового очертания пролетом 60 метров со стрелой подъема 13 метров. Шаг арок 6 метров, сечение - 280 x 1376 мм, собранное из двух пакетов шириной по 140 мм каждый. Между собой арки связываются распорками. Покрытие решено в виде однослойного косога настила из досок толщиной 25 мм, опирающегося на клееные деревянные прогоны.

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций



Крытый рынок в Бресте

Год постройки: 1989



Купол диаметром 60 метров и стрелой подъема 12 метров выполнен по ребристо-кольцевой схеме. Основными несущими элементами являются деревянные клееные радиальные ребра, сечением 160 x 800 мм, замкнутые верхним деревянным кольцом и опирающиеся на нижнее опорное железобетонное кольцо.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2 Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций



Ледовая арена в г. Москве

Ледовая арена в г. Пинске





Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

Развитие конструктивных форм деревянных конструкций

1) Срубы для стен:

- прямоугольной формы (четверик);
- многоугольной формы (восьмерик).

Срубы для покрытий:

- односкатные;
- двухскатные;
- килевидные.

2) Стержневые и брусчатые конструкции

- шпиль адмиралтейства высотой $H = 72$ м;
- деревянные фермы здания Манежа в Москве с пролётом длиной $L = 48$ м.

3) Стержневые и дощато-гвоздевые конструкции:

- сплошные (балки, рамы);
- сквозные (фермы, арки);
- пространственные (своды, купола).

4) Конструкции заводского изготовления:

- трехслойные панели длиной $l = 3; 6$ и 12 м;
- балки длиной $l = 18$ м,
- арки длиной $l = 63$ м.

5) Композитные конструкции:

- деревобетонные балки;
- деревобетонные плиты.



3 Свойства древесины как конструкционного строительного материала

- Для несущих деревянных конструкций применяют следующие виды древесины:

- 1) хвойные породы (сосна, ель, лиственница, пихта, кедр);
- 2) твердые лиственные породы (дуб, бук, ясень, акация, береза);
- 3) мягкие лиственные породы (осина, тополь, ольха, липа).

Физико-механические свойства древесины зависят от:

- 1) продолжительности и характера действия нагрузки и ориентации её по отношению к волокнам;
- 2) влажности, температуры, плотности;
- 3) породы древесины, а также ее качества (класса прочности).



3.1 Влажность древесины

Влага в древесине может быть:

- связанная (гигроскопическая) - в толще клеток;
- свободная - в полостях, между клетками.

Предел насыщения древесины: $W = 30\%$

- $W = 100\%$ - свежесрубленная древесина;
- $W = 200\%$ - сплавная древесина.

Усушка:

- вдоль волокон - $0,1\%$;
- в радиальном направлении – $2\% - 8\%$,
- в тангенциальном направлении - $2,2\% - 14\%$



3.2 Влияние температуры на прочность древесины

С увеличением температуры прочность древесины снижается (и наоборот):

$$f_t = f_{20} - \alpha (t - 20) \quad (1.2),$$

где

f_t - прочность древесины при температуре t ;

f_{20} - прочность древесины при $t = 20^\circ\text{C}$;

α - коэффициент, зависящий от вида напряженного состояния и породы древесины:

- при сжатии: $\alpha = 2,5 - 4,5$ МПа;

- при сдвиге: $\alpha = 0,4$ МПа;

t - температура.

3.3 Физические свойства древесины

1) Плотность:

- для хвойных пород $\rho = 500 - 600$ кг/м³;
- для твердых пород (лиственных) $\rho = 700$ кг/м³;
 - для свежесрубленной древесины:
 - хвойные породы - $\rho = 850$ кг/м³;
 - твердые лиственные породы - $\rho = 1000$ кг/м³.

2) Температурное линейное расширение

$a_0 = (6 - 7)a_{90}$; $a_d = a_{cm} / 2,5 = 0,5 * 10$ град - вдоль волокон.

В связи с малым a древесины отпадает необходимость устройства температурных швов, что значительно облегчает конструктивное решение.

3) Теплопроводность.

Древесина обладает низкой теплопроводностью. В связи с этим толщина стен в деревянных зданиях меньше, чем в зданиях из других конструктивных материалов



3.4 Химическая стойкость древесины

Сроки эксплуатации складов для минеральных удобрений:

T = 3 - 12 лет - конструкция из кирпича;

T = 3 - 14 лет - металлическая конструкция;

T = 2 - 12 лет - железобетонная конструкция;

T = 30 - 50 лет - деревянная конструкция.

Деревянные конструкции обладают повышенной химической стойкостью и их сопротивление агрессивным воздействиям **зависят от температуры и концентрации агрессивных веществ:**

1) Органические кислоты при нормальной температуре не разрушает древесину.

Горячие растворы органических кислот снижают прочность древесины.

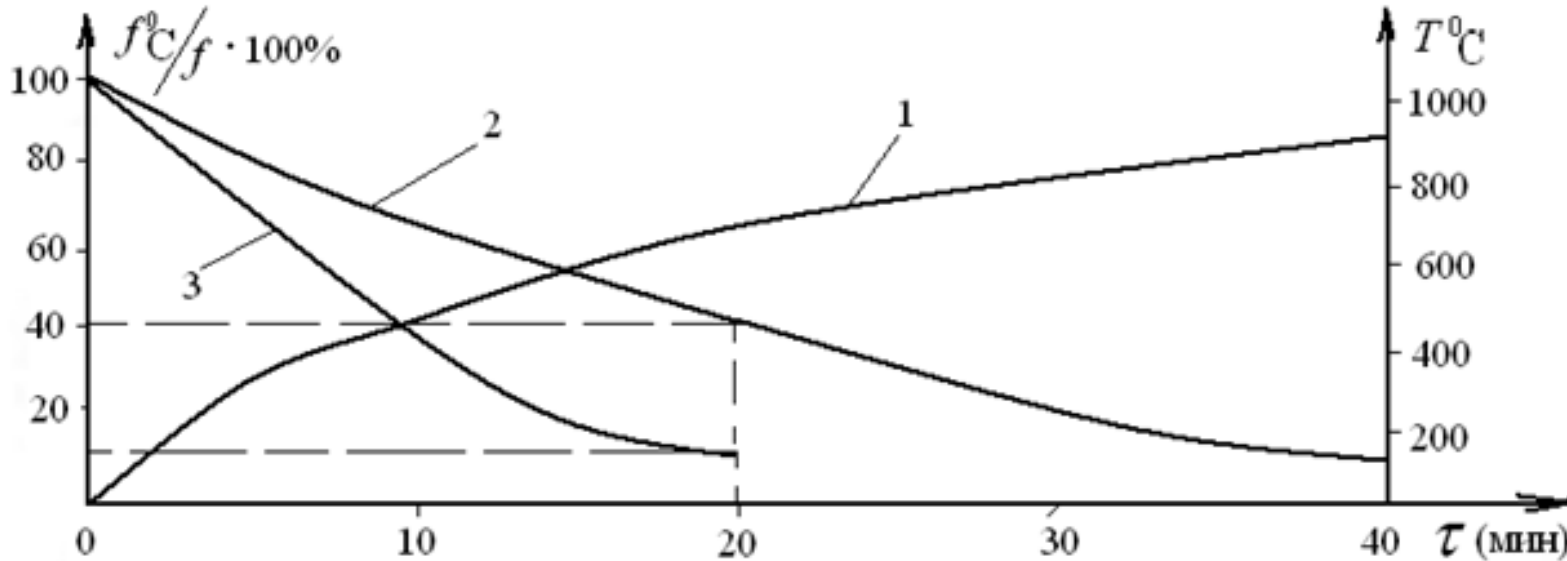
2) Серная и азотная кислоты разрушают древесину даже при низких температурах.

3) Газовые среды (серный и сернистый ангидриды) разрушают древесину.



3.5 Огнестойкость древесины

Снижение прочности древесины при огневом воздействии



■ f^0C/f – относительная прочность древесины при огневом воздействии; f – прочность древесины; 1 - кривая роста температуры при стандартном огневом воздействии; 2 - кривая снижения прочности элемента древесины размером 100 x 50 мм; 3 - кривая прочности для стального элемента.

Огнестойкость - способность древесины сопротивляться огневому воздействию, воспринимать нагрузку и сопротивляться распространению огня.

Пределом огнестойкости называется время огневого воздействия, при котором наступает предельное состояние конструкции.



3.6 Гниение древесины

Гниение древесины - результат деятельности грибков.

Условия, при которых происходит гниение:

1) Температура $t = +3$ до $+40$ ° С

Интенсивное гниение при температуре: $t = +18$.. $+30$ °С. При $t > 53$ °С и длительном режиме грибки погибают.

При отрицательной температуре деятельность грибков приостанавливается и возобновляется при положительной.

2) Влажность $W = 25$ - 60 %

При $W < 20\%$ гниение не происходит.

3) Доступ воздуха.

При отсутствии движения воздуха происходит процесс гниения древесины. При вентиляции (интенсивное движение воздуха) гниение уменьшается.



3.6 Гниение древесины

Меры борьбы с гниением.

Применяют **конструктивные** и **химические** меры.

Конструктивные меры имеют целью не допустить приток влаги к конструкции из древесины; создать режим в эксплуатируемых конструкциях, способствующих удалению влаги.

Химические меры:

- 1) предотвращение попадания атмосферной влаги путем устройства свесов, козырьков, надлежащего отвода воды с крыш, устройство необходимого разрыва (30 см) между поверхностями грунта и деревянных конструкций;
- 2) удаление влаги из сырых помещений достигается путем устройства вентиляции, приточно-вытяжных отверстий;
- 3) защита конструкций от капиллярной влаги;
- 4) борьба с бытовой влагой;
- 5) защитное средство против конденсата;
- 6) выбор соответствующей породы древесины для конструкций.



4 Достоинства и недостатки древесины.

Преимущества древесины:

- 1) 1) единственный легкодоступный **самовозобновляющийся** строительный материал;
- 2) 2) **относительно легкий и прочный материал**, особенно в направлении вдоль ее волокон;
- 3) 3) **микропористый материал с хорошими теплоизоляционными и санитарно-гигиеническими свойствами**, что важно для стен и покрытий жилых малоэтажных домов;
- 4) 4) **легкообрабатываемый материал**, что облегчает и упрощает изготовление деревянных конструкций;
- 5) 5) **стойкий материал** к воздействию слабых химических агрессивных сред;
- 6) 7) **хорошо склеиваемый материал**. Древесина надежно склеивается водостойкими синтетическими клеями.

7) Недостатки древесины:

- 8) 1) **в результате длительного увлажнения разрушается**. Однако современные конструктивные и химические методы защиты от гниения обеспечивают их сохранность при многолетней эксплуатации;
- 9) 2) **горючий**. Однако современные деревянные конструкции из элементов крупных сечений имеют предел огнестойкости выше, чем у некоторых других конструкций. Они могут быть дополнительно защищены от возгорания специальными покрытиями .



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

5 Конструкционные строительные пластмассы

Конструкционные пластмассы в строительстве применяют в составе элементов несущих и ограждающих конструкций. Основой этих материалов являются синтетические полимерные смолы – продукты промышленности химических органических материалов. К ним относятся: стеклопластики, пенопласты, оргстекло, винипласт, воздухо- и водонепроницаемые ткани и пленки и древесные пластики, синтетические клеи.

Из наиболее прочных стеклопластиков, расчетное сопротивление сжатию и растяжению которых достигает 100 МПа, выполняют основные элементы несущих строительных конструкций.

Стеклопластик - материал, состоящий из двух основных компонентов: синтетического связующего и стеклянного волокна (наполнителя).

Положительными качествами стеклопластиков на основе рубленых волокон являются простота их изготовления благодаря хаотичному расположению стекловолокна, относительно низкая стоимость, прозрачность.

Прозрачный стеклопластик выпускают в форме волнистых и плоских листов толщиной $\delta = 1,5 - 2,5$ мм, шириной до 1,5 м и длиной до 6 м. Волны имеют шаг $b_v = 60 - 200$ мм, высоту $h_v = 14 - 54$ мм и могут располагаться вдоль или поперек листа. Основным преимуществом прозрачного стеклопластика по сравнению с прочими листовыми материалами является его светопрозрачность, а по сравнению с листовым стеклом – отсутствие хрупкости и большая простота крепления.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

5 Конструкционные строительные пластмассы

Пенопласты – это сверхлегкие газонаполненные конструкционные пластмассы. Они представляют собой твердую пену, состоящую из массы замкнутых ячеек, заполненных воздухом или безвредным газом со стенками из затвердевшей полимерной смолы. Синтетическим связующим в пенопластах служат термопластичные или термореактивные смолы.

Органическое стекло, или оргстекло, – это конструкционная пластмасса, состоящая полностью из термопластичной полимерной смолы–полиметилметакрилата, без каких-либо наполнителей.

Винипласт состоит полностью из термопластичной смолы без наполнителей. Его изготавливают в виде плоских или волнистых листов толщиной до 2 мм и шириной до 120 см. Может быть прозрачным.

Воздухонепроницаемые ткани – новый конструкционный материал, *состоящий из текстиля и эластичных покрытий*. Технический текстиль является прочностной основой воздухонепроницаемых тканей. Его изготавливают из высокопрочных синтетических волокон. Полиамидные волокна типа «капрон» применяют наиболее широко. Они имеют высокую прочность, значительную растяжимость и малую стойкость против старения. Полиэфирные волокна типа «лавсан» менее растяжимы и более стойки против старения. Текстиль имеет полотняное переплетение. Более прочные нити располагаются вдоль рулона (основа), а менее прочные – поперек него (уток). Синтетические волокна не подвержены загниванию, но сгораемы. Покрытия обеспечивают необходимую воздухонепроницаемость тканей, служат для плотной связи нитей и слоев текстиля между собой и защищают их от активного атмосферного старения.



6 Способы защиты древесины от возгорания, биологического повреждения и коррозии

Способы защиты древесины от гниения:

- стерилизация древесины – прогрев древесины температуре 80 градусов;
- конструктивная защита
- химическая защита древесины

Конструктивная защита древесины от гниения обеспечивает такой режим эксплуатации конструкций, при котором ее влажность, W , менее 20% (наименьшая влажность при которой могут расти грибы). Кровля должна иметь необходимые уклоны, отделением древесины от бетонных и каменных конструкций слоями битумной гидроизоляции, опираться на фундаменты выше уровня грунта или пола минимум на 15 см, с битумной или мастичной изоляцией, от увлажнения парами воздуха достигается тем, что в помещениях с влажностью более 75% и выделением водяных паров поверхность ее изолируется водостойкими лакокрасочными материалами, устройство пароизоляции от конденсационного увлажнения.

Химическая защита древесины необходима в тех случаях, когда ее увлажнение в процессе эксплуатации неизбежно.

Химическая защита таких конструкций от загнивания заключается в пропитке или покрытии их ядовитыми для грибов веществами — антисептиками. Они бывают водорастворимыми и маслянистыми.



6 Способы защиты древесины от возгорания и биологического повреждения

Способы защиты древесины от гниения:

Маслянистые антисептики представляют собой некоторые минеральные масла — каменноугольное, антраценовое, сланцевое, древесный креозот и др. Они не растворяются в воде, не вымываются водой, очень ядовиты для грибов, имеют сильный неприятный запах и вредны для человека.

Конструктивные и химические меры защиты древесины и деревянных конструкций от возгорания

Целью защиты от возгорания является повышение предела огнестойкости деревянных конструкций, с тем, чтобы они дольше сопротивлялись возгоранию, а в процессе горения не создавали и не распространяли открытого пламени.

Конструктивная защита древесины от возгорания заключается в ликвидации условий, благоприятных для возникновения и расширения пожара.

Химическая защита от возгорания (противопожарная пропитка или окраска) производится в тех случаях, когда от ограждающих деревянных конструкций требуется повышенная степень огнестойкости, например в помещениях, где возможно скопление людей.



6 Способы защиты древесины от возгорания и биологического повреждения

Защита деревянных конструкций от энтомологических поражений

Поражение насекомыми может являться причиной разрушения древесины. Для деревянных конструкций наиболее опасны жуки-точильщики.

Для защиты от жуков-точильщиков эффективны только температурный и химический способы.

Химическая защита древесины от загнивания, особенно маслянистыми антисептиками, одновременно надежно защищает ее и от жуков-точильщиков. Для истребления жуков и их личинок в древесине конструкций применяется окуривание ее ядовитыми газами и вспрыскивание в ходы жуков растворов ядовитых веществ, например, гексахлорана.

Коррозия и защита деревянных конструкций

Коррозия древесины – разрушение древесины при воздействии химически агрессивных веществ (кислот, щелочей, солей, в жидком, твердом или газообразном состоянии).

Слабая агрессивная среда (например, минеральные кислоты концентрации до 5% и пыль калийных солей), оказывает лишь незначительное поверхностное агрессивное воздействие на древесину и практически не снижает прочности деревянных конструкций. В таких средах древесина является химически стойким материалом, более долговечным, чем металл, бетон и железобетон, для которых такие среды химически агрессивны.

Тема лекции: «Основы проектирования деревянных конструкций»





План лекции

- 1 Структура древесины**
 - 1.1 Макроструктура древесины**
 - 1.2 Микроскопическое строение древесины**
- 2 Механические свойства древесины**
 - 2.1 Прочностные и деформативные свойства древесины**
 - 2.2 Длительная прочность древесины**
 - 2.3 Диаграммы деформирования (ползучести) древесины при длительном действии постоянных напряжений**
- 3 Предельные состояния**
- 4 Расчет предельных состояний**
- 5 Воздействия и влияние окружающей среды**
- 6 Классы эксплуатации конструкций в зависимости от температурно-влажностных условий**
- 7 Классы продолжительности действия нагрузок**
- 8 Частный коэффициент свойств материалов и изделий**
- 9 Коэффициент модификации древесины и древесных материалов.**
- 10 Расчетные значения прочностных и упругих характеристик материалов**

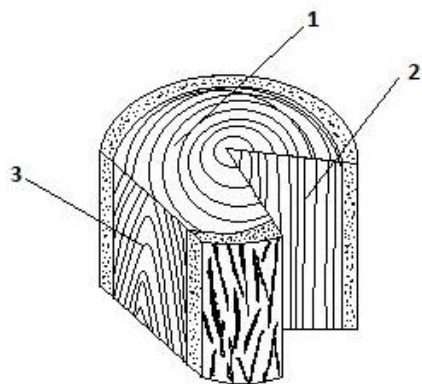
1 Структура древесины

1.1 Макроструктура древесины

Растущее дерево состоит из корневой системы, ствола и кроны. Промышленное значение имеет ствол, из которого получается от 60 до 90% конструкционной (деловой) древесины.

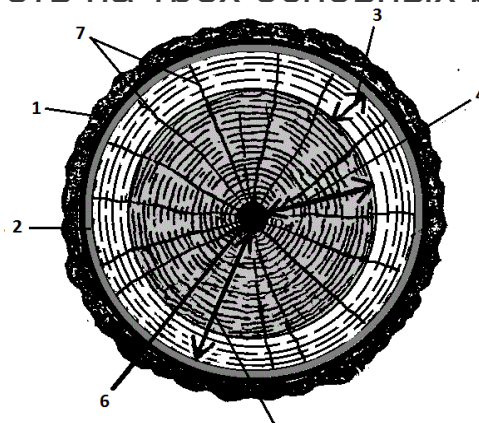
Древесина представляет собой природный композиционный материал, армированный волокнами. Она является природным полимером и состоит из целлюлозы $(C_6H_{10}O_5)_n$. Невооруженным глазом различается **макроструктура древесины**, а с помощью оптической и электронной микроскопии видна **микроструктура**.

Макроструктуру (рисунок 1) можно рассмотреть на трех основных разрезах ствола:



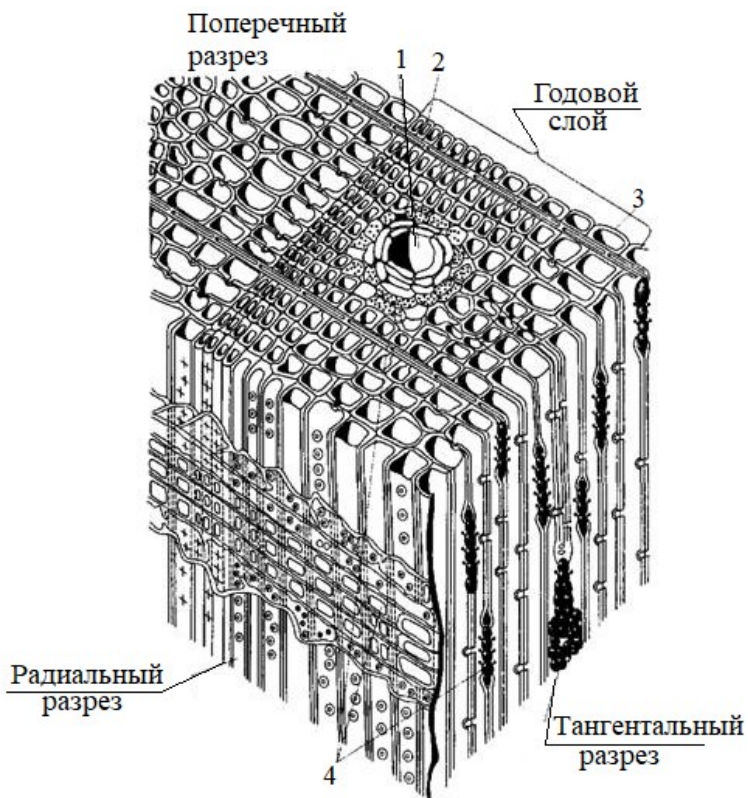
- 1 - поперечный (торцовый),
- 2 - радиальный, 3 – тангенциальный

Рисунок 1– Основные разрезы ствола дерева



- 1-кора (кожица, пробковая ткань, луб); 2 - камбий; 3 - заболонь; 4 - ядро; 5 - древесина;
 - 6 - сердцевина; 7 - сердцевинные лучи
- Рисунок 2 – Строение ствола дерева**

1.2 Микроскопическое строение древесины



1 — смоляной ход; 2 и 3 — соответственно поздние и ранние трахеиды; 4 - сердцевинные лучи

Рисунок 3 - Микроструктура древесины сосны

Рассматривая микроструктуру древесины можно увидеть, что основную ее массу составляют клетки веретенообразной формы, вытянутые вдоль ствола. Некоторое количество клеток (клетки сердцевинных лучей) располагаются в горизонтальном направлении, поперек основных.

Клетки древесины классифицируют на клетки механической или опорной ткани, проводящие клетки и клетки запасяющей ткани.



1.2 Микроскопическое строение древесины

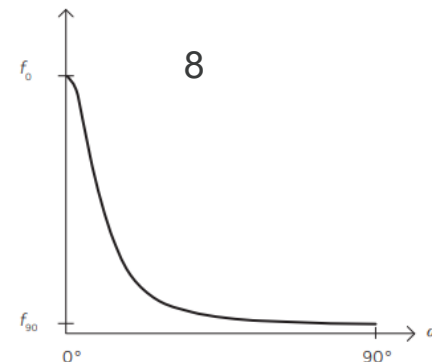
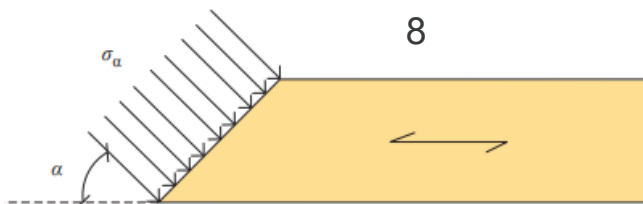
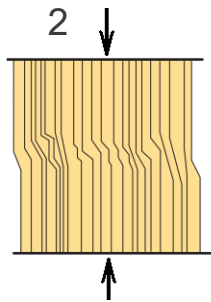
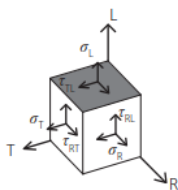
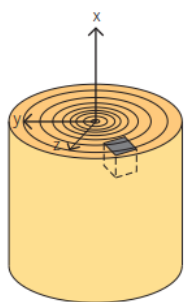
Главную роль в древесине, как строительном материале, играют *клетки механической или опорной ткани*. Они вытянуты в длину, имеют толстые стенки и узкие внутренние полости, наиболее прочны и стойки к загниванию. У хвойных пород это *трахеиды поздней древесины*. Они занимают примерно 90...95% общего объема.

Опорная ткань лиственных пород состоит из узких, вытянутых в длину клеток с заостренными концами, называемых «древесными волокнами». Они равномерно распределены по годичному слою. У большинства *хвойных пород*, преимущественно, в слоях *поздней древесины*, расположены смоляные ходы – межклеточные пространства, заполненные смолой.

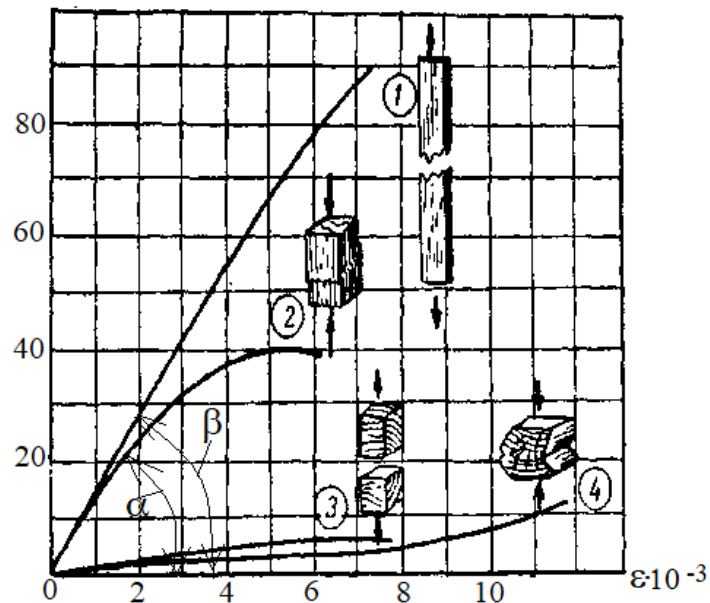
Срубленная древесина состоит из одревеневших клеточных оболочек. Оболочки клеток сложены из нескольких слоев очень тонких волокон, называемых *микрофибриллами*. Они компактно уложены и направлены по спиральям под разными углами к продольной оси клетки (как у каната). Это обеспечивает прочность материала при растяжении. *Микрофибрилла* состоит из длинных нитевидных цепных молекул целлюлозы – высокомолекулярного природного полимера $(C_6H_{10}O_5)_n$, где $n > 2500$, со сложным строением макромолекул. *Макромолекулы целлюлозы имеют высокую прочность на растяжение, изгиб и вытянутую форму.*

Между микрофибриллами содержатся органические вещества – *лигнин и гемицеллюлоза*. Есть небольшое количество неорганических веществ в виде солей щелочноземельных металлов. Наличие *лигнина* обеспечивает прочность *древесины при сжатии*.

2.1 Прочностные и деформативные свойства древесины



$\sigma, \text{МПа}$



$\tau, \text{МПа}$

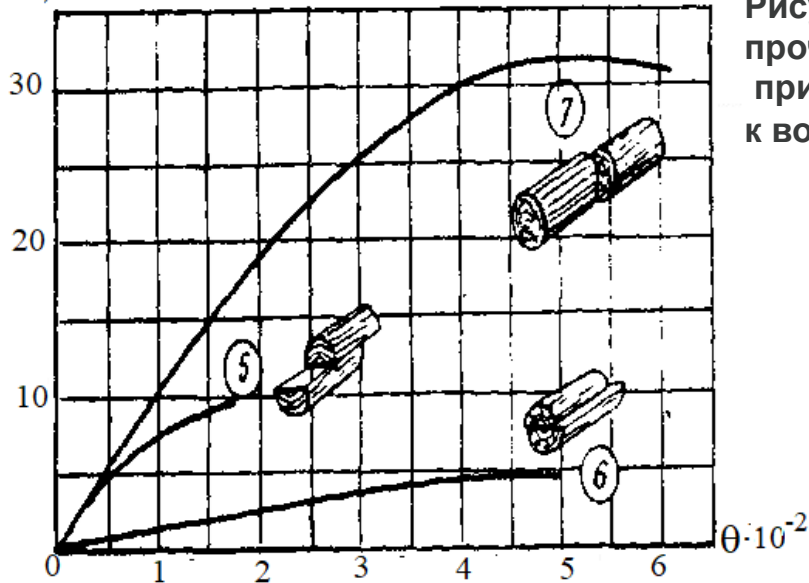


Рисунок 5 – Зависимость прочности древесины при сжатии под углом α к волокнам

Рисунок 4 - Диаграммы деформирования древесины « $\sigma - \varepsilon$ »

Виды напряженного состояния:

1 - растяжение вдоль волокон; 2 - сжатие вдоль волокон; 3 - растяжение поперек волокон; 4 - сжатие поперек волокон; 5 - сдвиг (скалывание) вдоль волокон; 6 - скалывание поперек волокон; 7 - перерезывание поперек волокон; 8 - сжатие под углом к волокнам

2.2 Длительная прочность древесины



Рис. 1 – Кривая длительного сопротивления древесины по данным Ф.П. Белянкина

1. По данным у Ф.П. Белянкина (1931 г), полученным при общей длительности испытаний 140 сут, $\sigma_{\text{пдс}} \approx 0,67 \sigma_{\text{вр}}$.

2. По данным у Леонтьева (1957 г.), полученным при общей длительности испытаний 1,5 ÷ 2 года,

$\sigma_{\text{пдс}} \approx 0,5 \sigma_{\text{пдс}}$

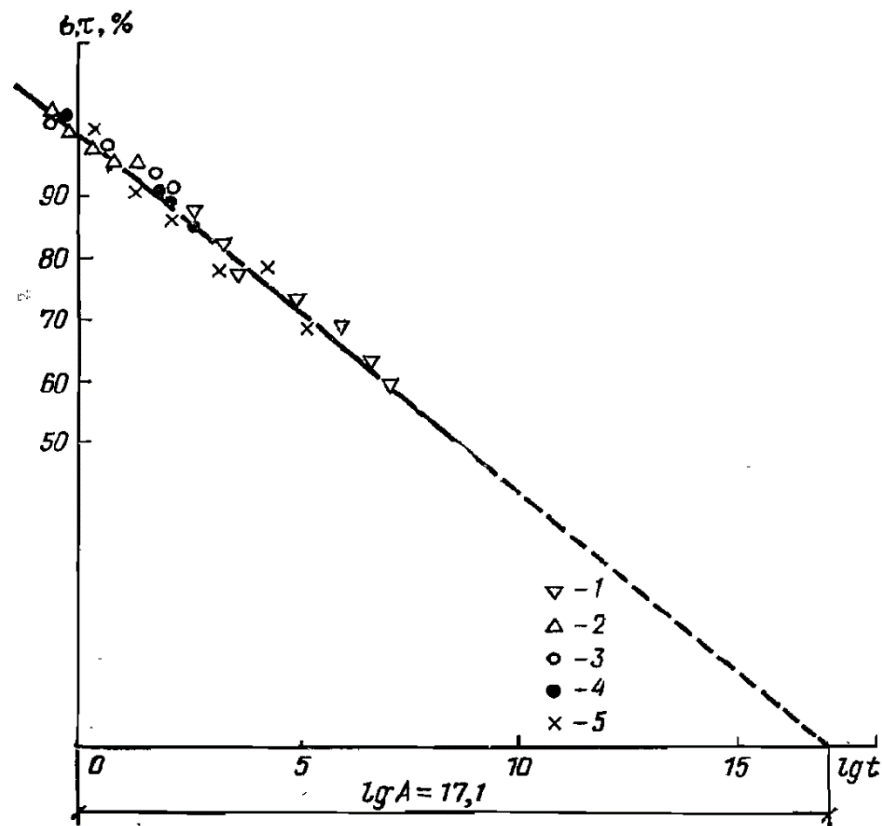


Рис. 2 – Зависимость длительной прочности древесины при изгибе, растяжении, сжатии и скалывании вдоль волокон

2.2 Длительная прочность древесины

Уравнение долговечности древесины в соответствии с кинетической концепцией прочности твердых тел может быть записано

$$t = \tau_0 e^{\frac{U_0 - \gamma f}{RT}} \quad (1)$$

или

$$\lg t = \lg A - \alpha f, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{\gamma}{2,3RT}$; $\lg A = \frac{U_0}{2,3RT} + \lg \tau_0$,

U_0 – начальная энергия активации процесса разрушения, кДж/моль;

τ_0 – период тепловых колебаний атомов, с;

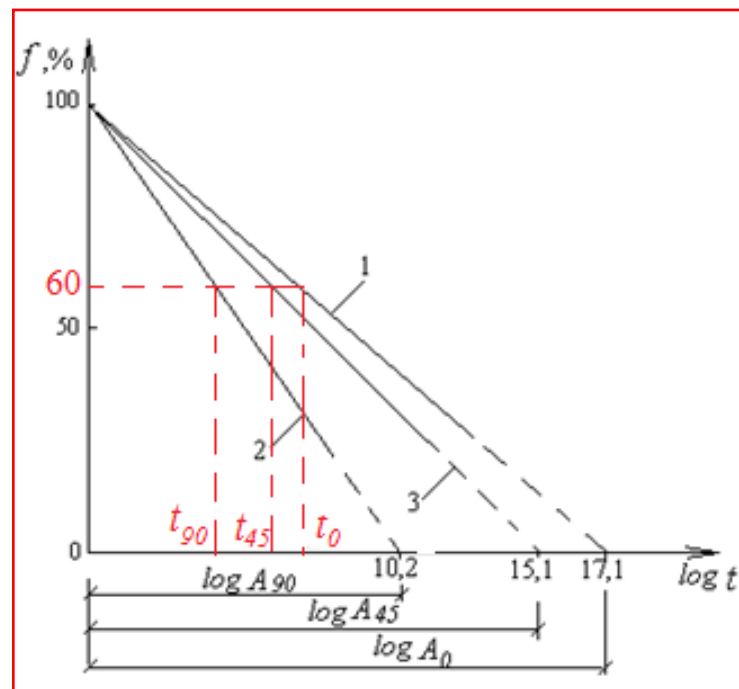
f – напряжение, МПа;

t – время до разрушения (долговечность), с;

γ – структурно-чувствительный коэффициент, кДж/(моль·МПа);

R – характеристика теплового движения (газовая постоянная), кДж/(моль·град);

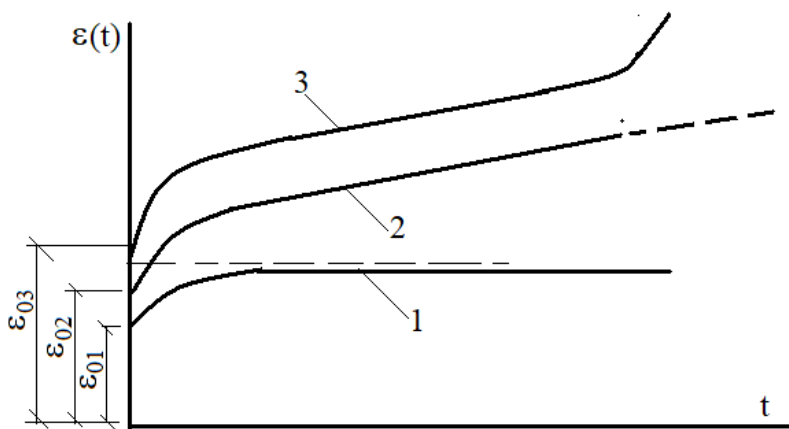
T – температура, К.



1 – растяжение, сжатие и скалывание вдоль волокон (Принято в СП 5.05.1 и ЕС5 независимо от НДС); 2 – растяжение поперек волокон; 3 – растяжение под углом 45° к волокнам (Орлович, Найчук)

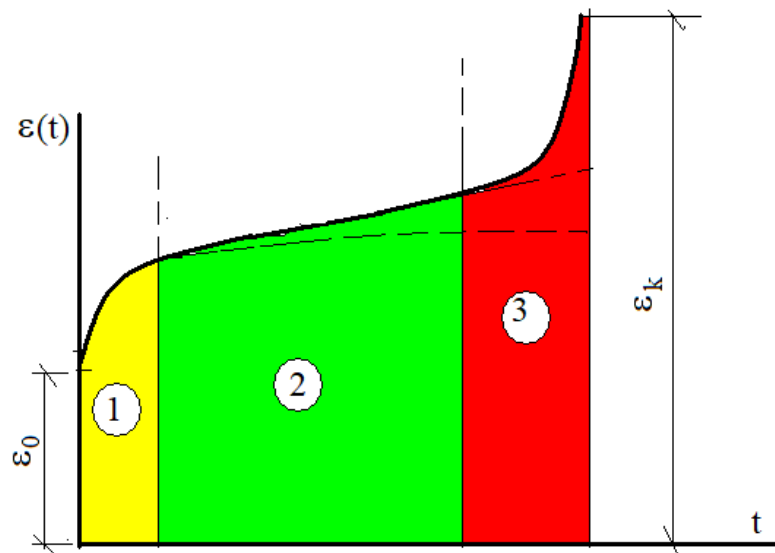
Рисунок 1 – Зависимость длительной прочности древесины для различных видов напряженного состояния

2.3 Диаграммы деформирования (ползучести) древесины при длительном действии постоянных напряжений



1 – устойчивое, затухающее во времени деформирование;
2 – безразличное деформирование; 3 – неустойчивое деформирование

Рисунок 5 – Кривые длительных $\varepsilon(t)$ при длительном действии разного уровня напряжений



1 – стадия нелинейного затухающего состояния;
2 – стадия устойчивого состояния;
3 – стадия лавинного деформирования

Рисунок 6 – Кривые длительных деформаций $\varepsilon(t)$ при увеличивающихся во времени напряжениях

Коэффициент ползучести k_{def}



3 Предельные состояния

Предельные состояния несущей способности

Предельные состояния, касающиеся :

— безопасности людей или

— безопасности конструкций, классифицируются как предельные состояния несущей способности.

Бывают случаи, когда к предельным состояниям несущей способности относятся также предельные состояния, касающиеся защиты содержимого, находящегося внутри сооружения.

Проверке подлежат, в случае их значимости, следующие предельные состояния несущей способности :

— потеря равновесия конструкции или любой ее части, рассматриваемой как жесткое тело;

— разрушение в результате недопустимых деформаций, переход конструкции или любой ее части в кинематически нестабильное состояние (механизм), нарушение целостности в результате разрушения материалов, потеря устойчивости конструкции или любой ее части , включая опоры и фундаменты;

— разрушение, обусловленное усталостью материала или другими эффектами, зависящими от времени.



3 Пределные состояния

Пределные состояния эксплуатационной пригодности

Пределные состояния, относящиеся к:

- функционированию конструкции или элементов конструкции при нормальных условиях эксплуатации;
- комфорту пользователей;
- внешнему виду строительных объектов, классифицируются как предельные состояния эксплуатационной пригодности.

Пределные состояния эксплуатационной пригодности

Различают обратимые и необратимые предельные состояния **эксплуатационной пригодности**.

При проверках предельных состояний эксплуатационной пригодности *следует пользоваться критериями*, касающимися:

- 1) деформаций, которые оказывают влияние на внешний вид строительного объекта, комфорт пользователя, функционирование конструкций (включая функционирование оборудования, инженерных сетей и обслуживающего персонала), или которые вызывают повреждения отделочных слоев или неконструктивных элементов;
- 2) колебаний, которые вызывают дискомфорт для пользователя; ограничивают функциональность конструкции;
- 3) повреждений, которые могут отрицательно влиять на внешний вид строительного объекта; долговечность, функционирование конструкции.



4 Расчет предельных состояний

Расчет предельных состояний

При расчете предельных состояний следует пользоваться расчетными моделями конструкций и воздействий для соответствующих предельных состояний.

Выполнять проверку не превышения предельных состояний, если в данных расчетных моделях используются соответствующие расчетные значения:

- воздействий;
- характеристик свойств материалов;
- характеристик свойств изделий и материалов;
- геометрических характеристик.

Проверку следует выполнять *для всех значимых расчетных ситуаций и случаев нагружения.*

Для проверки предельных состояний следует применять метод частных коэффициентов.

Для предельных состояний несущей способности должно соблюдаться условие, что расчетное сопротивление R_d не менее, чем влияние расчетной нагрузки E_d для рассматриваемого конструктивного элемента, т. е.

$$R_d \geq E_d \quad (1)$$

Для предельных состояний эксплуатационной пригодности должно соблюдаться условие, что предельное значение деформации (прогиба) $u_{c,d}$ для проверяемого элемента или конструкции, установленное в ТНПА не менее расчетного значения деформации/прогиба $u_{E,d}$ элемента или конструкции, т.е.

$$u_{c,d} \geq u_{E,d} \quad (2)$$



5 Воздействия и влияния окружающей среды

Классификация воздействий

Воздействия в зависимости от их **изменения во времени** классифицируются следующим образом:

— постоянные воздействия G , например собственный вес конструкций, стационарного оборудования, дорожного покрытия и косвенные воздействия, обусловленные действием усадки и неравномерных осадок;

— переменные воздействия Q , например функциональные нагрузки на перекрытия зданий, балки и покрытия, ветровые воздействия и снеговые нагрузки ;

— особые воздействия A , например взрывы или удары транспортных средств.

Воздействия также следует классифицировать в зависимости от:

— **происхождения** — прямые и косвенные ;

— **их изменения в пространстве** — фиксированные или свободные;

— **их характера** и/или реакции конструкции — статические или динамические .

6 Классы эксплуатации конструкций в зависимости от температурно-влажностных условий

Классы эксплуатации

Класс эксплуатации 1: характеризуется содержанием влаги в материалах, соответствующей температуре 20 °С и относительной влажности окружающей среды исключительно в случаях превышения 65 % в течение нескольких недель в год.. При классе эксплуатации 1 среднее содержание влаги, как правило, в древесине мягких пород не должно превышать 12 %.

Класс эксплуатации 2: характеризуется содержанием влаги в материалах, соответствующей температуре 20 °С и относительной влажности окружающей среды исключительно в случаях превышения 85 % в течение нескольких недель в год. При классе эксплуатации 2 — среднее содержание влаги, как правило, в древесине мягких пород не должно превышать 20 %.

Класс эксплуатации 3: климатические условия, ведущие к более высокому содержанию влаги, чем при классе эксплуатации 2.



7 Классы продолжительности действия нагрузок.

Классы продолжительности действия нагрузок

Классы продолжительности действия нагрузок характеризуются влиянием постоянного нагружения, действующего в течение определенного периода времени относительно периода эксплуатации конструкции. Для переменного воздействия определяется соответствующий класс на основе оценки взаимодействия между типовой вариацией нагрузки и временем.

Таблица 1 – Классы длительности действия нагрузки

Класс действия нагрузки	Совокупная длительность нагрузки
Постоянная	Более чем 10 лет
Длительная	6 мес — 10 лет
Среднесрочная	1 нед — 6 мес
Кратковременная	Менее чем 1 нед
Особая	—

Таблица 2 — Примеры нагрузок в соответствии с длительностью действия

Класс действия нагрузки	Примеры нагрузок
Постоянная	Собственный вес
Длительная	Складирование и накопление материалов
Среднесрочная	Полезная нагрузка, действующая на перекрытие; снег
Кратковременная	Снег, ветер
Особая	Ветер и особая нагрузка



7 Классы продолжительности действия нагрузок.

Примеры нагрузок в соответствии с длительностью действия

Класс воздействия нагрузки	Примеры нагрузок
Постоянная	Собственный вес конструкций; вес различного рода засыпок; вес постоянных перегородок, стационарного оборудования, коммуникаций; конструкции подвесных потолков; давление грунта
Длительная	Хранение грузов (категория E); нагрузка от воды в баках
Среднесрочная	Снег; равномерно распределенные полезные нагрузки на перекрытия и балконы в категории A –D; временные нагрузки в гаражах-стоянках и в зонах движения транспорта (категории F и G); воздействия из-за изменения влажности; вес нестационарного оборудования; вес временных перегородок;
Кратковременная	Временные нагрузки на лестницы; временные сосредоточенные нагрузки (Q_k); горизонтальные нагрузки на перегородки и парапеты; временные нагрузки по обслуживанию кровель и нахождения людей (категория H); транспортные нагрузки (категория E); воздействия от транспортных средств и механизмов; складирование грузов; ветер;
Особая	Ветер и случайные воздействия

8 Расчетное значение механического свойства древесины

Расчетное значение f_d для прочностных характеристик рассчитывается как

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot k_{mod} \quad (1) \quad k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}},$$

где f_k — характеристическое значение прочностных свойств;

γ_M — частный коэффициент свойств материала;

k_{mod} — коэффициент модификации, учитывающий эффект длительности нагрузки и содержание влаги.

Значения частных коэффициенты свойств материала (γ_M) и сопротивлений

Основные сочетания	
Цельная древесина	1,3
Клееная древесина	1,25
LVL, фанера, OSB	1,2
дсп	1,3
ДВП (твердые)	1,3
ДВП (средней плотности)	1,3
ДВП, МДФ	1,3
ДВП (мягкие)	1,3
Соединения	1,3
Крепежные перфорированные металлические пластины	1,25
Особые расчетные ситуации	1,0

9 Коэффициенты модификации

Значения k_{mod}

Материал	Стандарт	Класс эксплуатации	Класс длительности действия нагрузки				
			Постоянная	Длительная	Среднесрочная	Кратковременная	Особая
Цельная древесина	СТБ EN 14081	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Древесина клееная многослойная	СТБ EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	СТБ EN 14374	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	СТБ EN 14279	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Фанера	СТБ EN 636	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

10 Расчетные значения упругих характеристик

Расчетные значения модуля упругости E_d и сдвига G_d древесины элемента при проверке предельных состояний несущей способности определяются как:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}, \quad (2)$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}, \quad (3)$$

где E_{mean} — среднее значение модуля упругости;

G_{mean} — среднее значение модуля сдвига.

Расчетное сопротивление R_d (несущая способность) рассчитывается как:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}. \quad (4)$$

где R_k — характеристическое значение сопротивления;

γ_M — частный коэффициент свойств материала.

При проверке предельных состояний эксплуатационной пригодности

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})}, \quad (5)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + k_{def})}, \quad (6)$$

$$k_{def} = 2 \cdot \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,1}}. \quad (7)$$



10 Значения коэффициентов ползучести

Значения k_{def} для древесины и материалов на основе древесины

Материал	Стандарт	Класс эксплуатации		
		1	2	3
Цельная древесина	СТБ EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Древесина клееная многослойная	СТБ EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	СТБ EN 14374, СТБ EN 14279	0,60	0,80	2,00
Фанера	СТБ EN 636			
	Серии EN 636-1	0,80	—	—
	Серии EN 636-2	0,80	1,00	—
	Серии EN 636-3	0,80	1,00	2,50
OSB	СТБ EN 300 OSB/2	2,25	—	—
	СТБ EN 300 OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	—
Древесно-стружечная плита	СТБ EN 312 P4	2,25	—	—
	СТБ EN 312 P5	2,25	3,00	—
	СТБ EN 312 P6	1,50	—	—
	СТБ EN 312 P7	1,50	2,25	—

Тема лекции: «Материалы, используемые при изготовлении деревянных конструкций»





План лекции

1.1 Цельная древесина

1.2 Многослойная массивная клееная древесина:

-клееная многослойная древесина и клееный брус;

-клееная древесина с перекрестным расположением слоев (CLT).

1.3 Слоистая клееная древесина из шпона (LVL)

1.4 Плитные материалы на основе древесины:

а) фанера;

б) плиты с ориентированным расположением плоской стружки – (OSB) ;

в) древесно-стружечные плиты - ДСП ;

г) цементно-стружечные плиты – ЦСП;

д) древесноволокнистые плиты –ДВП, (MDF)

ж) гипсокартонные и гипсоволокнистые листы (плиты)

2 Свойства материалов и изделий, применяемых при изготовлении деревянных конструкций.

3 Методы определения прочностных и упругих свойств древесины

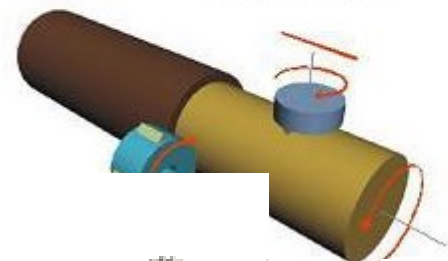
4 Определение класса прочности древесины

1 Цельная древесина:

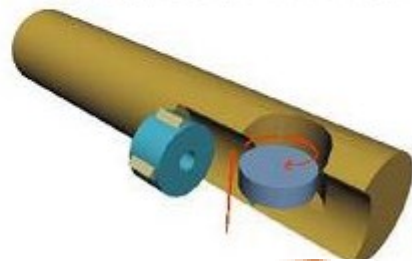
- бревна используют в качестве свай, стоек, элементов стен, ферм, башен и мачт;
- оцилиндрованные бревна – стойки, элементы стен, ферм и башен.

Циклы обработки бревна на станке

1. Черновая и чистовая обработка



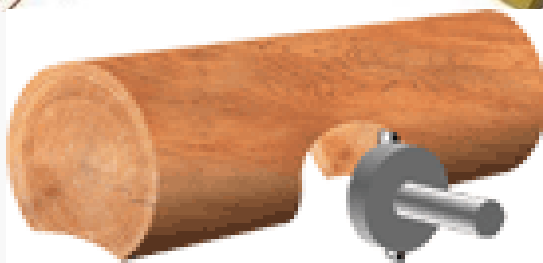
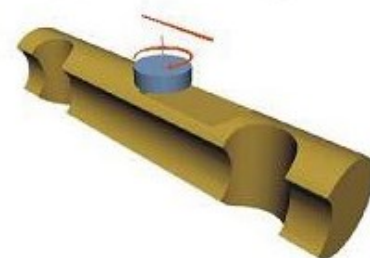
2. Выборка продольного паза и первой чашки



3. Выборка второй чашки



4. Фугование поверхности



1.1 Цельная древесина:

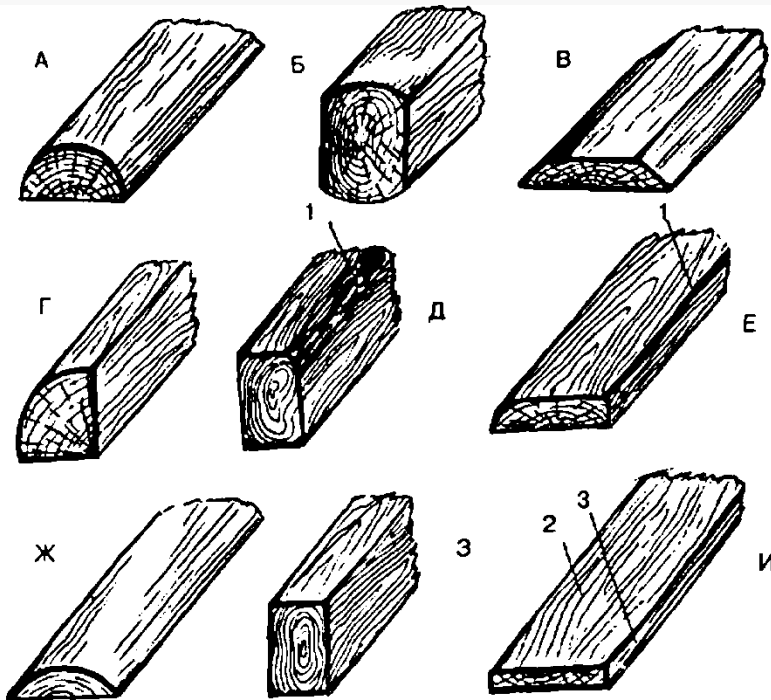
пиломатериалы (брусья, доски, бруски) – изготавливают стойки, элементы стен, ферм, арок, башен и мачт.

Доски – пиломатериал толщиной $\delta \leq 100$ мм и менее при отношении ширины к толщине $b/\delta \geq 2$;

Брус – пиломатериал толщиной $\delta \geq 100$ мм при отношении сторон сечения $b/\delta < 2$;

Брусок – пиломатериал толщиной $b < 100$ мм при отношении сторон сечения $b/\delta < 2$.

Длина пиломатериалов хвойных пород до 6,5 м, лиственных пород - до 5 м.



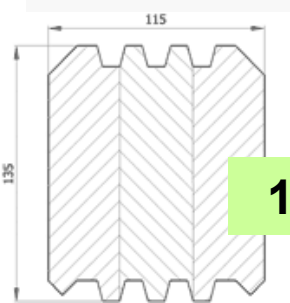
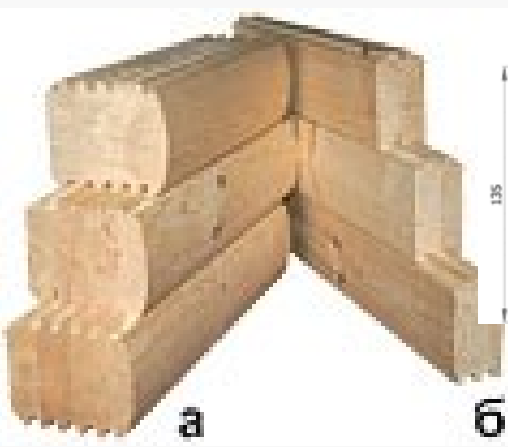
А – пластина; Б – двухкантный брус; В – необрезная доска; Г – четвертина; Д – четырехкантный брус с обзолом; Е – полуобрезная доска с обзолом; Ж – горбыль; З – чистообрезной брус; И – обрезная доска; 1 – обзол; 2 – пласть; 3 – ребро.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

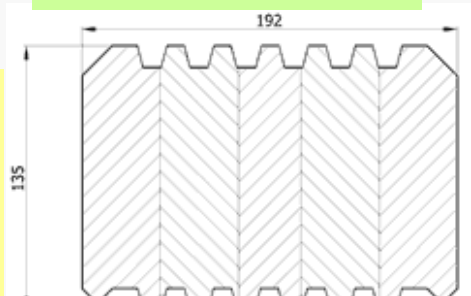
1.2 Многослойная массивная клееная древесина:

- клееная древесина из досок используется для изготовления балок, элементов арок, ферм, панелей, рам и мачт, колонны, клееного стенового профилированного бруса;



115 x 135 мм

192 x 135 мм



Образцы клееного бруса для возведения наружных (а) и внутренних (б) стен

1.2 Многослойная массивная клееная древесина:

- древесина с перекрестным расположением слоев (панели CLT) – изготавливают панели стен, плиты перекрытий, настилы пролетных строений мостов, комбинированные конструкции.





1. 4 Плитные материалы на основе древесины

а) фанера – используют в качестве элементов клефанерных балок, рам и арок, а также при изготовлении панелей стен в качестве обшивок, опалубки.



Клееная фанера – слоистый материал получаемый склеиванием по толщине нескольких шпонов древесины (березового, соснового, лиственничного). Количество слоев шпона в поперечном сечении нечетное – 3 и более. Направление волокон древесины в смежных слоях шпона ортогональное. Фанера считается изготовленной из той древесины, из которой изготовлены ее наружные слои (рубашки).

Табл. 1 – Размеры листовой фанеры, выпускаемой по СТБ EN 636

Длина (ширина) листов фанеры	Предельное отклонение	Номинальная толщина, мм	Количество слоев	Средняя толщина, мм	Номинальная толщина, мм	Количество слоев	Средняя толщина, мм
1200, 1220, 1250	±3,0						
1500, 1525, 1800, 1830	±4,0	4	3	3,6	24	17	23,2
		6,5	5	6,4	27	19	26,
2100, 2135, 2440, 2500	±4,0	9	7	9,2	30	21	28,8
		12	9	12,0	35	25	34,4
2700, 2745, 3050, 3600, 3660	±5,0	15	11	14,8	40	29	40,0
		18	13	17,6	45	32	44,2
		21	15	20,4	50	35	48,4

1. 4 Плитные материалы на основе древесины:

б) ОСП – плиты с ориентированным расположением стружки – (OSB) - *используют при изготовлении панелей стен, плит покрытий в качестве обшивок, а также в качестве настила под мягкую кровлю, в качестве стенок при изготовлении балок коробчатого или двутаврового поперечного сечения.*



ОСП или OSB (Orient Strand Board - плита с ориентированной плоской стружкой) - продукт глубокой переработки древесины путем прессования прямоугольной плоской стружки (щепы) в условиях высокого давления и температуры, с использованием склеивающей искусственной водостойкой смолы.

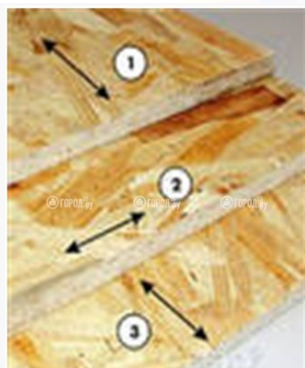
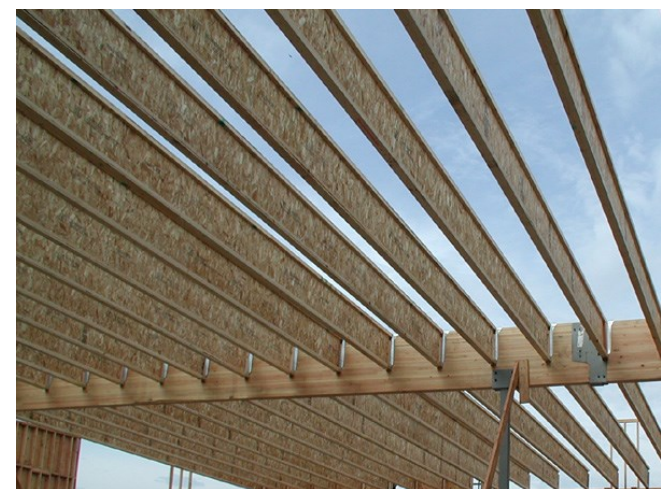


Рис. 1 - Общий вид слоев ОСП и обработки кромок

Рис. 2 - Общий вид конструкций с использованием ОСП

Область применения ОСП





1. 4 Плитные материалы на основе древесины

б) ОСП – плиты с ориентированным расположением стружки. СТБ EN 300

Технология производства **ОСП** позволяет использовать недорогое сырье: тонкомерную и неделовую древесину хвойных пород.

Существенным отличием ОСП от других плитных материалов является то, что прочностные свойства и способность удерживать крепеж обеспечиваются не связующим, а характером укладки плоской щепы. Во внешних слоях она ориентирована параллельно длине плиты, а во внутреннем слое - уложена перпендикулярно длине.

Параметр	Ед. изм.	Показатель для толщин		Метод испытания
		9.5 - 11.9	15.9 - 18.3	
Средняя плотность	кг/м ³	660	550	EN323
Отклонение по толщине	мм	0,30		EN312
Отклонение по длине и ширине	мм/м	±3		EN324-1
Отклонение от прямого угла, макс.	мм/м	2		EN324-2

Классификация плит ОСП (OSB)

OSB 2	Плиты предназначены для использования в сухих условиях (класс эк. 1)
OSB 3	Плита предназначены для использования во влажных условиях (класс эк. 2)
OSB 4	Плита строительная для несущих конструкций с повышенными механически-ми нагрузками и повышенной влажностью (снаружи и внутри). (класс эк. 2).

Сухие условия: условия при температуре +20° С и относительной влажности окружающей среды 65% только несколько недель в году.
Влажные условия: условия при температуре +20° С и относительной влажности окружающей среды 85% несколько недель в году



1. 4 Современные материалы на основе древесины (плитные материалы):

в) ДСП – древесностружечные плиты используются в качестве обшивки стен и крыш, изготовлении стеновых панелей, изготовлении настилов полов, оснований под ковровые и линолеумные покрытия, в качестве перегородок, в изготовлении съемной опалубки, мебели, стеллажей, полок, упаковки, в строительстве ограждений и разборных конструкций и др.



ДСП (древесностружечная плита) - продукт
древесного происхождения, образованный
прессованием древесных частиц с использованием
органических связующих в условиях высокого давления
и температуры. Шлифованные ДСП - представляют собой материал, получаемый путем горячего прессования измельченной древесины (как правило специально изготовленной стружки и опилок) со связующем веществом (синтетическими смолами).

Табл. 1 - Размеры ДСП

Параметры	Значения	Предельные отклонения
Толщина, мм	От 6 до 45 с градацией 1 (для шлифованных)	+/- 0,3
Длина, мм	1830, 2040, 2440; 2500. 2600, 2700, 2750, 2840, 3220, 3500, 3600, 3660, 3690, 3750, 4100, 5200, 5500, 5680	+5
Ширина, мм	1220, 1250, 1500, 1750, 1800, 1830, 2135, 2440, 2500	+5

Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

1. 4 Современные материалы на основе древесины (плитные материалы):
в) ДСП – древесно-стружечные плиты



Рис. 1 - Общий вид ДСП

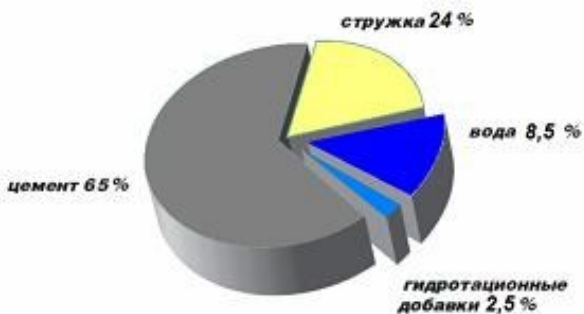


Рис. 2 - Примеры использования ДСП

1.4 г) цементно-стружечные плиты (ЦСП) – используют при изготовлении стеновых панелей в качестве обшивок, а также при изготовлении опалубки.



ЦСП - это древесно-стружечная плита на цементном связующем. Плита на 65% состоит из цемента и на 24% из древесной стружки. Вода занимает 8,5%, и 2,5% - гидратационные примеси (жидкое стекло, сульфат алюминия). Эти пропорции могут меняться в зависимости от желаний производителя.



ЦСП являются универсальным строительным материалом: экологически чистым, т. к. не содержит в своем составе асбеста и формальдегидов, влагостойким, морозостойким, пожаростойчивым и долговечным. ЦСП устойчивы к поражению насекомыми, грибом и грызунами. Структура плит монолитна: они не расслаиваются, кромки разреза не чувствительны к атмосферному воздействию.

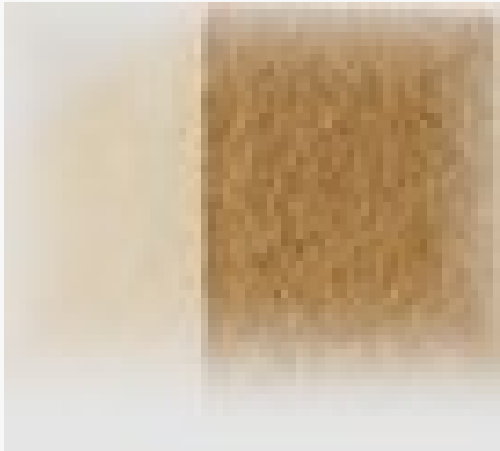
Плиты обладают отличными звукоизоляционными свойствами, ударной прочностью, выдерживают воздействие любых атмосферных условий, не подвержены коррозии, гниению. Одним из уникальных свойств домов из ЦСП можно назвать и огнестойкость.

Плиты выпускают двух марок: ЦСП-1 и ЦСП-2, шлифованные или нешлифованные.



1.4 Современные материалы на основе древесины (плитные материалы):

ДВП (MDF Medium Density Fiberboards) - используют при изготовлении панелей стен в качестве внутренних обшивок, дверей и мебели.



ДВП - древесноволокнистая плита средней плотности - продукт древесного происхождения, образованный прессованием древесных волокон с использованием органических связующих в условиях высокого давления и температуры. Плита **ДВП (MDF)** имеет однородную плотную структуру, благодаря чему по возможностям механической обработки она значительно превосходит натуральное дерево.

ДВП изготавливают в соответствии с требованиями EN 622-2 - плотные; EN 622-3 – средней плотности и EN 622-5 – обычной плотности. Для изготовления плит **ДВП (MDF)** используется, как правило, низкосортная древесина и отходы деревообработки (щепка, горбыль).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Структуры поверхности	шлифованная
Стандартные размеры	2800×2070 мм, 2620×2070 мм
Толщина	6, 8, 10, 12, 16, 18, 19, 22, 25, 28 мм
Средняя плотность (кг/м ³)	780 +/- 20

1.4 д) гипсокартонные и гипсоволокнистые листы (ГКЛ и ГВЛ).

ГКЛ - лист, состоящий из гипса (средняя часть), оклеенного с двух плоскостей вдоль длинных кромок тонким картоном. В процентном соотношении 93 % приходится на гипс, 6 % составляет картон. Остальной 1% – это вода, крахмал и ПАВ. Благодаря отсутствию воздуха между слоем гипса и картоном, ГКЛ не горит, поэтому он относится к огнестойким стройматериалам.

Типы гипсокартонных листов:

- ГКЛ – стандартный (базовый);
- ГКЛВ – влагостойкий (зеленый);
- ГКЛО – огнестойкий (красный);
- ГКЛВО – влаго- и огнестойкий.

Размеры листов:

Длина листов – 2.0; 2.5; 3.0 м.

ГКЛ могут иметь нестандартные размеры – 1.5; 2.7; 3.3; 3.6 м.

Толщина листов – 1,2 м; нестандартные шириной – 0,6 м.

Ширина листов – 6.0, 9.0, 12.5 мм; нестандартные – 6.5 и 9.5 мм и усиленных – 15, 18 и 25 мм.



Рис.1 - ГКЛ



Рис.2. - ГВЛ

Гипсоволокнистые листы (ГВЛ) – это лист, в гипсовую сердцевину которого добавлено целлюлозное волокно. Такие листы отличаются повышенной прочностью, слабо подвержены воздействию огня, имеют ровную поверхность.



2. Свойства материалов и изделий, применяемых при изготовлении деревянных конструкций.

2.1 Конструкционные пиломатериалы

Табл. 1 - Классы прочности для конструкционных пиломатериалов хвойных пород.
Характеристические значения по СТБ EN 338

		Древесина хвойных пород											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Показатели прочности, Н/мм²													
Изгиб	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Растяжение волокон вдоль	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Растяжение волокон поперек	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Сжатие волокон вдоль	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Сжатие волокон поперек	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Сдвиг	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Показатели жесткости, кН/мм²													
Среднее значение модуля упругости вдоль волокон	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11	12	13	14	15	16
5%-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон	$E_{0,0,5}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Среднее значение модуля упругости поперек волокон	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Среднее значение модуля сдвига	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Плотность, кг/м³													
Плотность	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Среднее значение плотности	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2. Свойства материалов и изделий, применяемых при изготовлении деревянных конструкций.

2.1 Конструкционные пиломатериалы

Табл. 2 - Классы прочности для конструкционных пиломатериалов лиственных пород. Характеристические значения по СТБ EN 338

		Древесина лиственных пород					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Показатели прочности, Н/мм²							
Изгиб	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Растяжение вдоль волокон	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Растяжение поперек волокон	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Сжатие вдоль волокон	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Сжатие поперек волокон	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Сдвиг	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Показатели жесткости, кН/мм²							
Среднее значение модуля упругости вдоль волокон	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
5%-ный квантиль модуля упругости вдоль волокон	$E_{0,0,5}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Среднее значение модуля упругости поперек волокон	$E_{90,mean}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Среднее значение модуля сдвига	G_{mean}	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Плотность, кг/м³							
Плотность	ρ_k	530	560	590	650	700	900
Среднее значение плотности	ρ_{mean}	640	670	700	780	840	1080



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2.1 Конструкционные пиломатериалы

табл. 2 - Классы прочности для конструкционных пиломатериалов при растяжении вдоль волокон. Характеристические значения по СТБ EN 338

T-классы досок	$f_{t,0,l,k}$	$E_{t,0,l,mean}$	$\rho_{l,k}$
T8 (C14)	8	7 000	290
T9	9	7 500	300
T10 (C16)	10	8 000	310
T11 (C18)	11	9 000	320
T12 (C20)	12	9 500	330
T13 (C22)	13	10 000	340
T14 (C24)	14	11 000	350
T14,5	14,5	11 000	350
T15	15	11 500	360
T16 (C27)	16	11 500	370
T18 (C30)	18	12 000	380
T21(C35)	21	13 000	390
T22	22	13 000	390
T24 (C40)	24	13 500	400
T26	26	14 000	410
T27 (C45)	27	15 000	410
T28	28	15 000	420
T30 (C50)	30	15 500	430



2.2.1 Клееная однородная древесина

Табл. 3 - Характеристические значения прочности, упругих характеристик (Н/мм²) и плотности (кг/м³) для однородной клееной многослойной древесины СТБ EN 1194

Класс прочности однородной клееной многослойной древесины		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Прочность при изгибе		24	28	32	36
Прочность при растяжении	$f_{m,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	k	0,4	0,45	0,5	0,6
Прочность при сжатии	$f_{t,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{t,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
	k	2,7	3,2	3,8	4,3
Прочность при скалывании	$f_{c,0,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
	k	2,7	3,2	3,8	4,3
Модуль упругости	$f_{v,g,k}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,mean}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{0,g,05}$	390	420	460	490
	$E_{90,g,mean}$	720	780	850	910
Модуль сдвига	$E_{90,g,mean}$	720	780	850	910
Плотность	$G_{g,mean}$	380	410	430	450
	$\rho_{g,k}$				



2. Свойства материалов и изделий, применяемых при изготовлении деревянных конструкций.

2.2.1 Клееная комбинированная древесина

Табл. 4 - Характеристические значения прочности, упругих характеристик (Н/мм²) и плотности (кг/м³) для комбинированной клееной многослойной древесины по СТБ EN 1194:

Класс прочности комбинированной клееной многослойной древесины		GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Прочность при изгибе	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Прочность при растяжении	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
Прочность при сжатии	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Прочность при скалывании	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Модуль упругости	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	320	390	420	460
Модуль сдвига	$G_{g,mean}$	590	720	780	850
Плотность	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2.3 Фанера листовая

Фанера выпускается 5 ТИПОВ по EN 636 – 2014. Плотность не менее 350 кг/м³

Таблица 8 - Прочностные и упругие характеристики фанеры

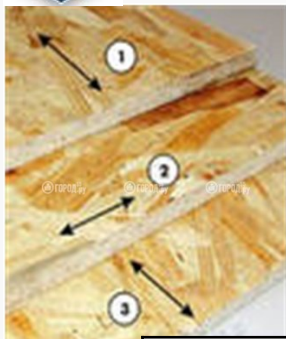
Прочностные и упругие свойства, N/mm ²		F20/10 E40/20		F20/15 E30/15		F40/30 E60/40		F50/25 E70/25		F60/10 E90/10	
		вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон	вдоль волокон	поперек волокон		⊥
по пласти											
Изгиб	$f_{m,k}$	20	10	20	15	40	30	50	25	60	10
Сжатие	$f_{c,90,k}$	4				9			10		
Сдвиг	$f_{v,k}$	0,9	0,6	1	0,7	2,2			2,5		
Модуль упругости	E_{mean}	4000	2000	3000	2500	6000	4000	7000	2500	9000	1000
Модуль сдвига	G_{mean}	35	25	35	25	150			200		
по грани											
Изгиб	$f_{m,k}$	9	7	8	7	29	31	36	24	36	24
Растяжение	$f_{t,k}$	9	7	8	7	29	31	36	24	36	24
Сжатие	$f_{c,0,k}$	15	10	13	13	21	22	36	17	26	18
Сдвиг	$f_{v,k}$	3,5		4		9,5			11		
Модуль упругости	E_{mean}	4000	3000	4000	3000	4400	4700	5500	3650	5500	3700
Модуль сдвига	G_{mean}	350				600			700		
Плотность (kg/m ³)	ρ_k	350				600					

2.4 LVL

Табл. 8 - Характеристические значения упругих характеристик и плотности LVL:

	Модуль упругости вдоль волокон	Модуль сдвига на ребро	Плотность	Среднее значение		
				модуль упругости	модуль сдвига	плотность
Обозна-чение	$E_{0,k}$	$G_{0,k}$	ρ_k	$E_{0,mean}$	$G_{0,mean}$	$\rho_{k,mean}$
Единицы	Н/мм ²	Н/мм ²	кг/м ³	Н/мм ²	Н/мм ²	кг/м ³
Kerto-S ^K	11600	400	480	13800	600	510
Kerto-Q ^K	8800	400	480	10500	600	510





2.5 ОСП – Плиты с ориентированным расположением стружки (OSB) СТБ EN 300

Табл. 9 - Характеристические значения прочности ОСП:

Свойства	Характеристика прочности, Н / мм ²							
	изгиб вдоль наружных слоев		сжатие в плоскости листа		растяжение в плоскости листа		Сдвиг вдоль наружных слоев	Сдвиг в плоскости листа
Толщина плиты, мм	$f_{m,0,k}$	$f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k}$
OSB / 2 – несущие плиты для использования в сухих условиях; OSB / 3 - несущие плиты для использования во влажной среде								
>6-10	18,0	9,0	15,9	12,9	9,9	7,2	6,8	1,0
>10-18	16,4	8,2	15,4	12,7	9,4	7,0	6,8	1,0
>18-25	14,8	7,4	14,8	12,4	9,0	6,8	6,8	1,0
OSB / 4 – несущие плиты для использования в тяжелом режиме эксплуатации во влажной среде								
>6-10	24,5	13,0	18,1	14,3	11,9	8,5	6,9	1,1
>10-18	23,0	12,2	17,6	14,0	11,4	8,2	6,9	1,1
>18-25	21,0	11,4	17,0	13,7	10,9	8,8	6,9	1,1

Примечание – Значения 5% -го квантиля для жесткости (например, G_k и E_k) следует принимать равным 0,85 от среднего значения, приведенного в данной таблице. Значения других свойств, не приведенных в данной таблице, должны соответствовать требованиям в EN 300 для классов OSB / 2, OSB/3 или OSB / 4.

2.5 ОСП - Ориентированно-стружечные плиты OSB EN 300

Табл. 10 - Характеристические значения упругих характеристик и плотности для плит OSB:



Свойства	Плотность кг/м ³	Средний модуль сдвига, Н / мм ²		Средний модуль упругости, Н / мм ²					
		при сдвиге вдоль наружных слоев	сдвиг в плоскости листа (межслойный)	при изгибе листа		при растяжении листа		при сжатии	
Толщина плиты, мм	ρ_k	$G_{v,mean}$	$G_{r,mean}$	$E_{m,0,mean}$	$E_{m,90,mean}$	$E_{t,0,mean}$	$E_{t,90,mean}$	$E_{c,0,mean}$	$E_{c,90,mean}$
OSB / 2 – несущие плиты для использования в сухих условиях; OSB / 3 - несущие плиты для использования во влажной среде									
>6-10	550	1080	50	4930	1980	3800	3000	3800	3000
>10-18	550	1080	50	4930	1980	3800	3000	3800	3000
>18-25	550	1080	50	4930	1980	3800	3000	3800	3000
OSB / 4 – несущие плиты для использования в тяжелом режиме эксплуатации во влажной среде									
>6-10	550	1090	60	6780	2680	4300	3200	4300	3200
>10-18	550	1090	60	6780	2680	4300	3200	4300	3200
>18-25	550	1090	60	6780	2680	4300	3200	4300	3200

Примечание – Значения 5% -го квантиля для жесткости (например, G_k и E_k) следует принимать равным 0,85 от среднего значения, приведенного в данной таблице. Значения других свойств, не приведенных в данной таблице, должны соответствовать требованиям в EN 300 для классов OSB / 2, OSB/3 или OSB / 4.



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

2. Свойства материалов и изделий, применяемых при изготовлении деревянных конструкций.

2.6 ДСП – древесно стружечные плиты СТБ EN 312

Табл. 11 - Минимальные характеристические значения прочности для ДСП классов Р4 и Р5:

Свойства	Характеристика прочности, Н / мм ²				
	изгиб	сжатие вдоль листа	растяжение вдоль листа	сдвиг вдоль листа	сдвиг в плоскости листа
Толщина плиты, мм	$f_{m,0,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k}$
ДСП Р4 – несущие плиты для использования в сухих условиях (только класс 1)					
>6-13	14,2	12,0	8,9	6,6	1,8
>13-20	12,5	11,1	7,9	6,1	1,6
>20-25	10,8	9,6	6,9	5,5	1,4
>25-32	9,2	9,0	6,1	4,8	1,2
>32-40	7,5	7,6	5,0	4,4	1,1
>40	5,8	6,1	4,4	4,2	1,0
ДСП Р5 – несущие плиты для использования во влажной среде (классы 1 и 2)					
>6-13	15,0	12,7	9,4	7,0	1,9
>13-20	13,3	11,8	8,5	6,5	1,7
>20-25	11,7	10,3	7,4	5,9	1,5
>25-32	10,0	9,8	6,6	5,2	1,3
>32-40	8,3	8,5	5,6	4,8	1,2
>40	7,5	7,8	5,5	4,4	1,0



4.6 ДСП – древесно стружечные плиты EN 312

Табл. 12 - Минимальные характеристические значения харак. упругости и плотности для ДСП классов P4 и P5:

Свойства	Плотность кг/м ³	Средний модуль сдвига, вдоль листа, Н / мм ²	Средний модуль упругости, Н / мм ²		
			при изгибе	при растяжении	при сжатии
Толщина плиты, мм	ρ_k	$G_{v,mean}$	$E_{m,0,mean}$	$E_{t,0,mean}$	$E_{c,0,mean}$
ДСП P4 – несущие плиты для использования в сухих условиях (только для класса эксплуатации 1)					
>6-13	650	860	3200	1800	1800
>13-20	600	830	2900	1700	1700
>20-25	550	770	2700	1600	1600
>25-32	550	680	2400	1400	1400
>32-40	500	600	2100	1200	1200
>40	500	550	1800	1100	1100
ДСП P5 – несущие плиты для использования во влажной среде (для классов эксплуатации 1 и 2)					
>6-13	650	960	3500	2000	2000
>13-20	600	930	3300	1900	1900
>20-25	550	860	3000	1800	1800
>25-32	550	750	2600	1500	1500
>32-40	500	690	2400	1400	1400
>40	500	660	2100	1300	1300

Примечание – Значения 5% -го квантиля для жесткости (например G_k и E_k) следует принимать равным 0,8 среднего значения, приведенного в данной таблице. Значения других свойств, не приведенных в данной таблице, должны соответствовать требованиям EN 312.

3 Методы определения прочностных и упругих характеристик древесины

Определение общего модуля упругости при изгибе

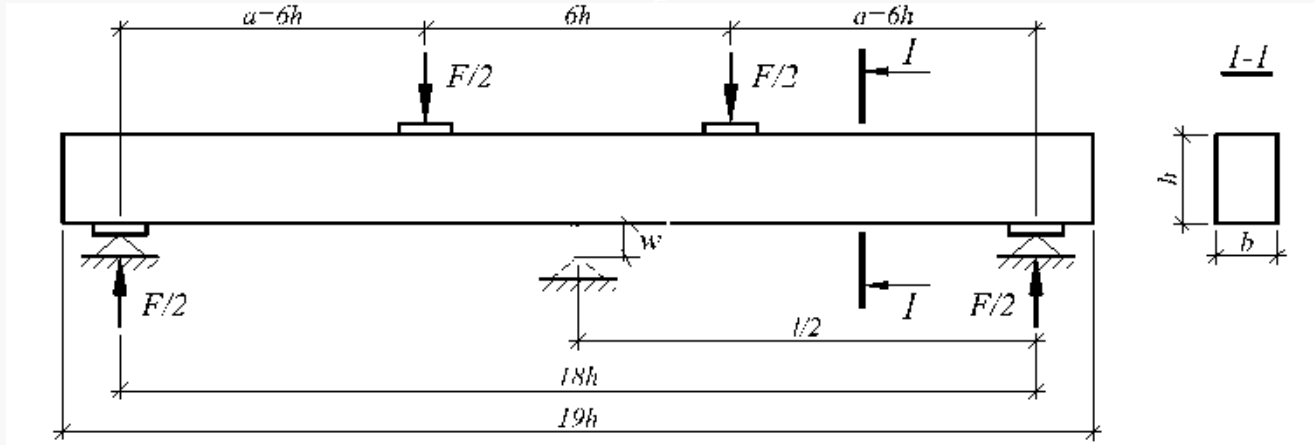
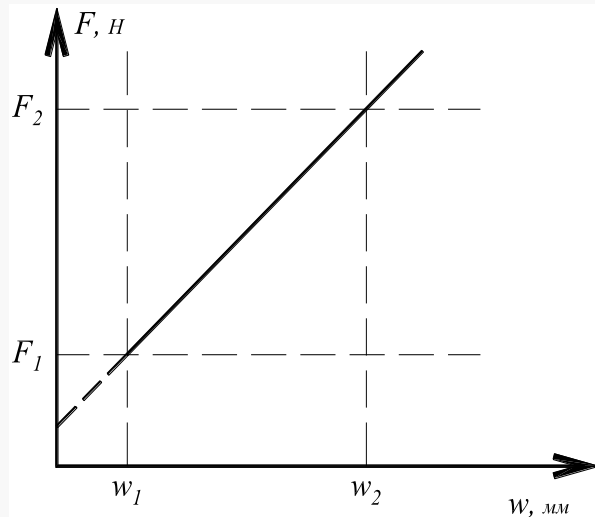


Рис. 9 - Схема испытаний по определению модуля упругости при изгибе



Нагрузку прикладывают с постоянной скоростью. Скорость перемещения нагружающего устройства не должна превышать $0,003h$, мм/с (рисунок 9).

Максимальная прикладываемая нагрузка не должна превышать $0,4F_{max}$.

Общий модуль упругости при изгибе определяют по формуле:

$$E_{m,g} = \frac{\ell^3 (F_2 - F_1)}{bh^3 (w_2 - w_1)} \left[\left(\frac{3a}{4\ell} \right) - \left(\frac{a}{\ell} \right)^3 \right]$$

где $F_2 - F_1$ — приращение нагрузки, Н, на участке графика зависимости «нагрузка – деформация» (см. рисунок 10);

$w_2 - w_1$ — приращение деформации, мм, соответствующее приращению $F_2 - F_1$ (см. рисунок 10).

Рис. 10 - График зависимости «нагрузка - прогиб» в диапазоне упругих деформаций

3 Методы определения прочностных и упругих свойств древесины

Определение модуля упругости при растяжении и сжатии поперек волокон

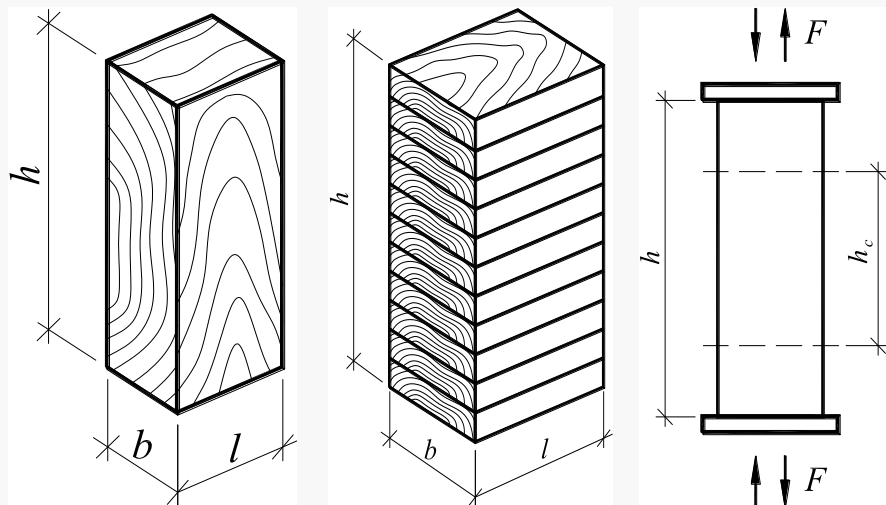


Рис. 12 - Общий вид образцов и схема испытаний по определению модуля упругости и прочности древесины поперек волокон

Модуль упругости при сжатии поперек волокон:

$$E_{c,90} = \frac{(F_{40} - F_{10})h_0}{(w_{40} - w_{10})bl}$$

Модуль упругости при растяжении поперек волокон

$$E_{t,90} = \frac{(F_{40} - F_{10})h_0}{(w_{40} - w_{10})bl}$$

Табл. 17 - Размеры испытываемых образцов при растяжении и сжатии поперек волокон

Характеристика образца						
Цельная древесина			Клееная слоистая древесина			
<i>b</i> , мм	<i>h</i> , мм	<i>l</i> , мм	Объём м	<i>b</i> x <i>l</i> , мм ²	<i>b</i> _{минимум} мм	<i>h</i> , мм
Растяжение						
45	180	70	0,01 м ³	25000	100	400
Сжатие						
45	90	70	-	25000	100	200

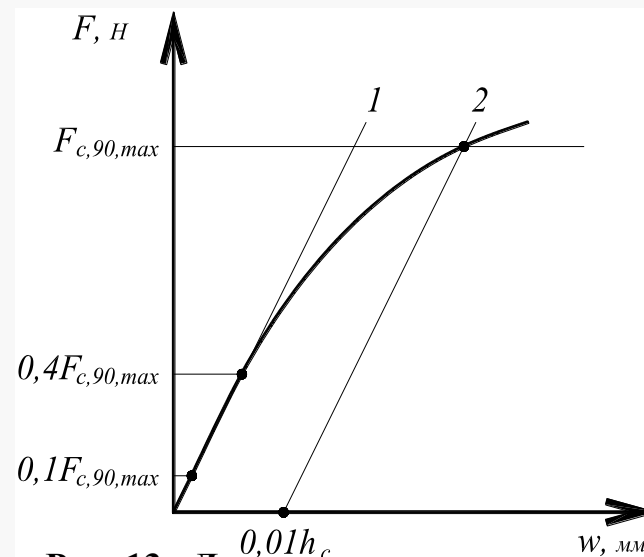


Рис. 13 - Диаграмма «нагрузка-деформация» при сжатии образцов

Определение локального модуля упругости при изгибе и модуля сдвига

Нагрузку прикладывают постоянной скоростью. Скорость перемещения нагружающего устройства не должна превышать $0,003h$, мм/с (рисунок 11). Максимальная прикладываемая нагрузка не должна превышать $0,4F_{max}$.

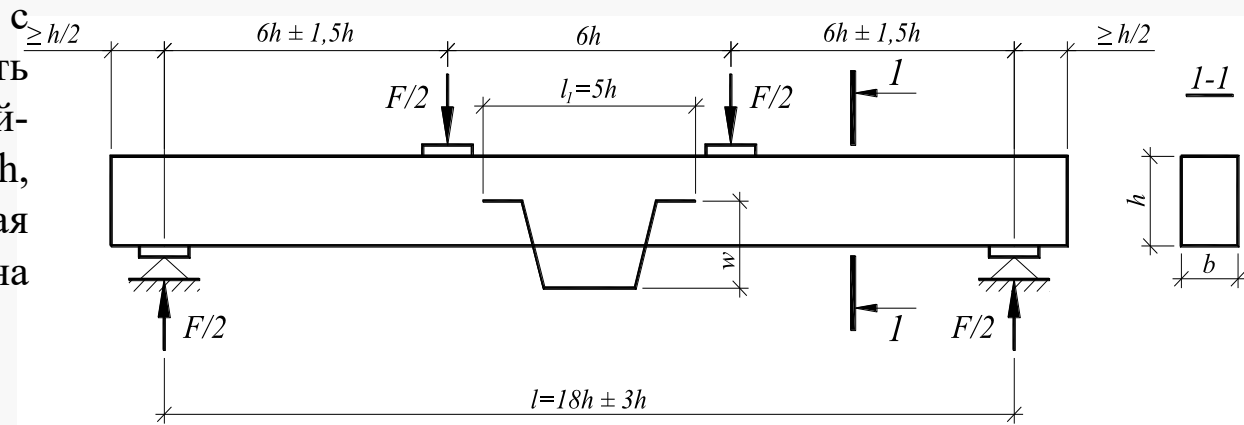


Рис. 11 - Схема испытаний по определению модуля упругости при изгибе

Локальный модуль упругости вычисляют по формуле:

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}$$

$$E_{m,app} = \frac{\ell}{48I(w_2 - w_1)}$$

Определение условного модуля упругости

$$G = \frac{k_G h^2}{l_1^2 \left[\frac{1}{E_{m,app}} - \frac{1}{E_{m,l}} \right]}$$

Определение модуля сдвига

$$E_{t,0} = \frac{\ell}{A(w_2 - w_1)}$$

Определение модуля упругости при растяжении вдоль волокон

$$E_{c,0} = \frac{\ell}{A(w_2 - w_1)}$$

Определение модуля упругости при сжатии вдоль волокон



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

3 Методы определения прочностных упругих свойств древесины СТБ EN408 2012

Определение прочности при поперечном изгибе

Прочность при изгибе определяют по формуле:

$$f_m = \frac{a \cdot F_{\max}}{2 \cdot W}$$

Определение прочности при растяжении вдоль волокон

Прочность при растяжении вдоль волокон определяют по формуле:

$$f_{t,0} = \frac{F_{\max}}{A}$$

Определение прочности при сжатии вдоль волокон

Прочность при сжатии вдоль волокон определяют по формуле:

$$f_{c,0} = \frac{F_{\max}}{A}$$

Определение прочности при растяжении и сжатии поперек волокон

Прочность при сжатии поперек волокон определяют по формуле:

$$f_{c,90} = \frac{F_{c,90,\max}}{bl}$$

Прочность при растяжении поперек волокон определяют по формуле:

$$f_{t,90} = \frac{F_{t,90,\max}}{bl}$$

3 Методы определения упругих и прочностных свойств древесины Определение прочности при скалывании (сдвиге) вдоль волокон

Прочность при сдвиге определяют с точностью до 1% по формуле:

$$f_v = \frac{F_{\max}}{\ell} \cdot \cos 14^\circ$$

Образцы для испытаний должны соответствовать требованиям согласно

рисунку 14. Размеры образцов должны быть следующими:

$$l = (300 \pm 2) \text{ мм};$$

$$b = (32 \pm 1) \text{ мм};$$

$$h = (55 \pm 1) \text{ мм}.$$

Толщина стальной пластины должна составлять $(10 \pm 1) \text{ мм}$.

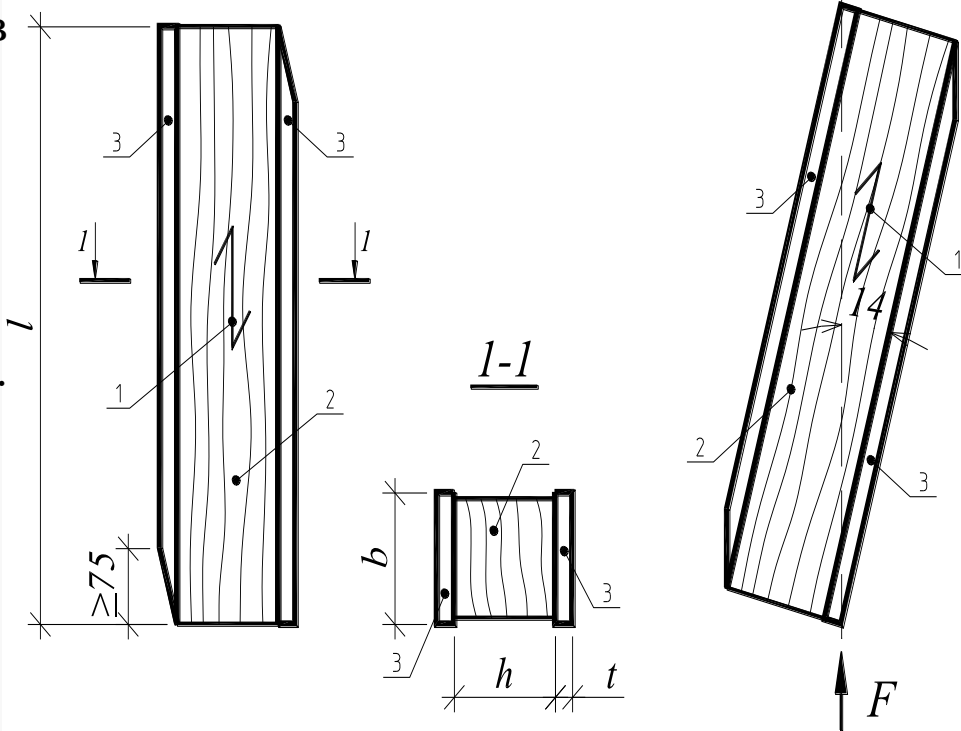


Рис. 14 - Испытываемый образец и схема испытаний: 1 - направление волокон; 2 – испытываемый образец; 3 – стальная пластина



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

4 Определение класса прочности древесины (СТБ EN 1194)

Многослойная клееная древесина

4.1 Определение на основе испытаний

Многослойная клееная древесина может быть отнесена к приведенным классам прочности при условии выполнения требований:

- если ее характеристические значения, полученные при испытаниях в соответствии с EN 408, не менее значений, приведенных в таблицах. (Основными характеристиками, определяемыми по результатам испытаний, являются прочность при изгибе, модуль упругости при изгибе и плотность. Значения других характеристик, необходимых для расчета, допускается принимать по таблицам 1 и 2.).

- высота образцов при изгибе должна составлять $h = 600$ мм, ширина — $b \geq 150$ мм. При растяжении образцов ширина должна составлять $h \geq 600$ мм, толщина — $b \geq 150$ мм. Если размеры поперечного сечения менее стандартных значений, то результаты испытаний умножают на коэффициент

$$k_{sizr} = \left(\frac{b}{150} \right)^{0,05} \cdot \dots \quad (1)$$

4.2 Определение на основе расчетов

Слои склеенных пиломатериалов должны обладать такими механическими характеристиками (определенными в соответствии с EN 384 и EN 408), чтобы полученные значения механических характеристик многослойной клееной древесины были не менее значений, приведенных в таблицах 2 и 3.

Основными характеристиками, касающимися склеенных пиломатериалов, являются характеристическое значение прочности при растяжении и среднее значение модуля упругости при растяжении, используемые в формулах



4 Определение класса прочности древесины (СТБ EN 338)

4.2.1 Пиломатериалы (цельная древесина)

Определение на основе расчета

Формулы для определения характеристических значений

— прочность при растяжении и сжатии вдоль волокон $f_{t,0,k} = 0,6 \cdot f_{m,k}$; (1) $f_{c,0,k} = 5 \cdot (f_{m,k})^{0,45}$ (2)

— прочность при сдвиге $f_{v,k} = \begin{cases} 3,8 \\ 0,2(f_{m,k})^{0,8} \end{cases}$; (3)

— прочность при растяжении поперек волокон $f_{t,90,k} = \min \begin{cases} 0,6 \\ 0,0015 \cdot \rho_k \end{cases}$; (4)

— прочность при сжатии поперек волокон:
для хвойной породы древесины

$$f_{c,90,k} = 0,007 \cdot \rho_k, \quad (5)$$

для лиственной породы древесины

$$f_{c,90,k} = 0,015 \cdot \rho_k; \quad (6)$$

— модуль упругости вдоль волокон:
для хвойной породы древесины

$$E_{0,05} = 0,67 \cdot E_{0,mean}, \quad (7)$$

для лиственной породы древесины

$$E_{0,05} = 0,84 \cdot E_{0,mean}; \quad (8)$$

— среднее значение модуля упругости поперек волокон:
для хвойной породы древесины

$$E_{90,mean} = \frac{E_{0,mean}}{30}, \quad (9)$$

для лиственной породы древесины

$$E_{90,mean} = \frac{E_{0,mean}}{15}; \quad (10)$$

— среднее значение модуля сдвига

$$G_{mean} = \frac{E_{0,mean}}{16}. \quad (11)$$



Автор: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

4 Определение класса прочности (СТБ EN 1194)

4.2.2 Многослойная клееная древесина

Определение на основе расчетов

$$k_{sizr} = \left(\frac{h}{150} \right)^{0,1} \cdot \left(\frac{2000}{\dots} \right)^{0,1}$$

Таблица 14 - Формулы для определения характеристических значений многослойной клееной древесины

Характеристики		
Прочность при изгибе	$f_{m,g,k}$	$= 7 + 1,15f_{t,0,1,k}$
Прочность при растяжении	$f_{t,0,g,k}$	$= 5 + 0,8f_{t,0,1,k}$
	$f_{t,90,g,k}$	$= 0,2 + 0,015f_{t,0,1,k}$
Прочность при сжатии	$f_{c,0,g,k}$	$= 7,2f_{t,0,1,k}^{0,45}$
	$f_{c,90,g,k}^*$	$= 0,7f_{t,0,1,k}^{0,5}$
Прочность при скалывании**	$f_{v,g,k}$	$= 0,32f_{t,0,1,k}^{0,8}$
Модуль упругости	$E_{0,g,mean}$	$= 1,05E_{0,1,mean}$
	$E_{0,g,05}$	$= 0,85E_{0,1,mean}$
	$E_{90,g,mean}$	$= 0,035E_{0,1,mean}$
Модуль сдвига	$G_{g,mean}$	$= 0,065E_{0,1,mean}$
Плотность	$\rho_{g,k}$	$= 1,10\rho_{l,k}$



Разработано: кафедра строительных конструкций БрГУ, д.т.н. Найчук А.Я.

Лекция на тему «Расчет элементов деревянных конструкций, подверженных осевым воздействиям»

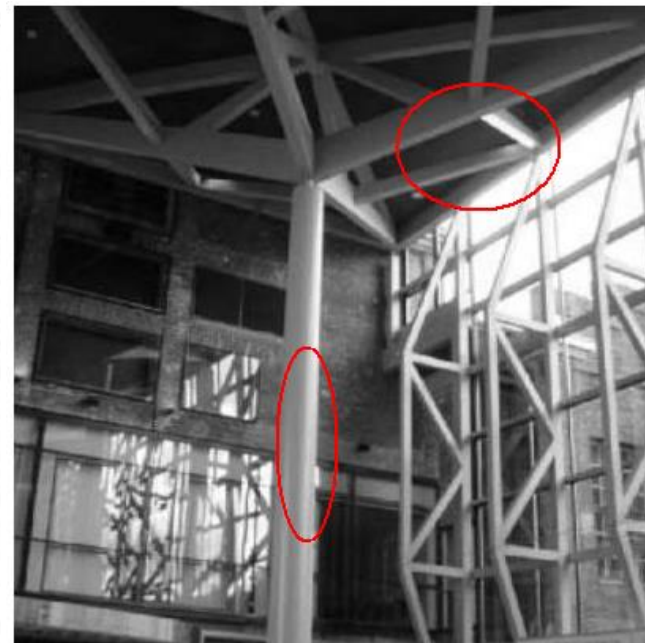
1 Расчет центрально-растянутых элементов

2 Расчет центрально-сжатых элементов

3 Проверка опорных площадок элементов, подверженных сжатию под углом α к волокнам древесины

Введение

Характерными примерами являются элементы ферм (стропильных систем), стоек или колонн, вертикальных каркасных стен и связей. Некоторые из них представлены на этом слайде. В данной лекции рассмотрим расчет предельных состояний несущей способности прямолинейных сплошных элементов из древесины или древесных материалов постоянного поперечного сечения, в которых волокна располагаются вдоль длины элемента, и элементы подвержены воздействию осевого сжатия и растяжения.



1 Расчет центрально-растянутых элементов

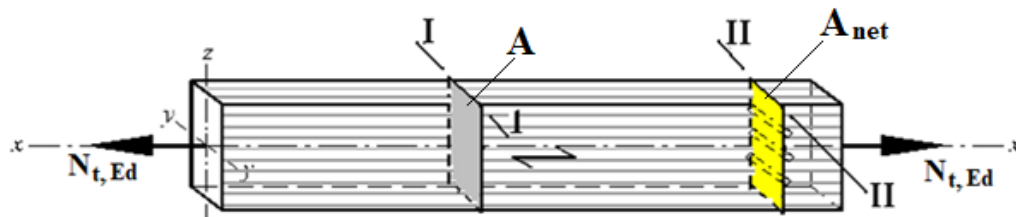


Рис. 1 - Общий вид центрально-растянутого элемента

Растянутый элемент должен быть проверен в самой напряженном сечении и этим, как правило, являются сечения, расположенные в зонах соединения элементов деревянных конструкций. Поскольку расчет соединения производится после подбора самого элемента, то расчет растянутых элементов обычно сопряжен с процессом проб и ошибок. Предположения строятся относительно типа и размера используемого соединения и обеспечения несущей способности растянутого элемента, применяемого в зоне соединения, учитывая уменьшение площади в месте предполагаемого соединения. После того, как соединения рассчитаны, элемент перепроверяется с учетом фактической площади сечения нетто. Следует отметить, что уменьшение площади поперечного сечения элемента может не учитываться, когда в соединении используются гвозди и болты диаметром 6 мм или менее, установленные в элемент без предварительного сверления.

Если в элементе на его концах используются разные типы соединений, то рассматривается конец с минимальной площадью сечения нетто A_{net} .

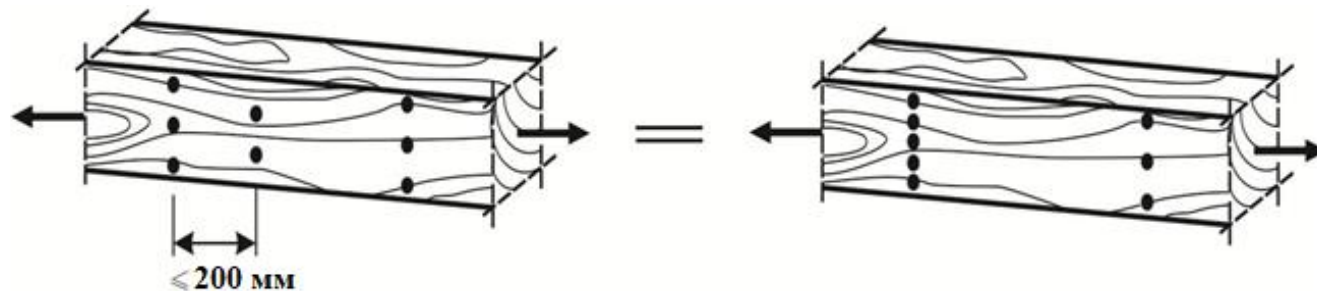


Рис. 2 - Учет ослабления поперечного сечения от смещенного расположения соединительных элементов



1 Расчет центрально-растянутых элементов

$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd} \quad (1) \quad \text{или} \quad \sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (2)$$

где $N_{t,Ed}$ - расчетное значение усилия растяжения в элементе, обусловленное внешними воздействиями (нагрузками);

$N_{t,Rd}$ – расчетное значение сопротивления сечения элемента при растяжении древесины вдоль волокон в Н, определяемое по формуле (3)

$$N_{t,Rd} = f_{t,0,d} \cdot A_{net} \quad (3);$$

$\sigma_{t,0,d}$ - расчетное значение напряжения в сечении элемента при его растяжении вдоль волокон, определяемое по формуле (4)

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,Ed}}{A_{net}} \quad (4);$$

$f_{t,0,d}$ - расчетное значение прочности древесины в сечении при растяжении вдоль волокон в МПа, определяемое по формуле (5);

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (5);$$

здесь k_{mod} и k_{sys} – коэффициенты модификации и изменения прочности материала в элементах системы соответственно; k_h – коэффициент, учитывающий эффект размера элемента при растяжении; $f_{t,0,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при растяжении древесины элемента вдоль волокон или материала на основе древесины.

При использовании элементов из LVL вместо коэффициента k_h используют коэффициент k_l , значение которого зависит от длины элемента.

A_{net} – площадь поперечного сечения нетто в мм²



1 Расчет центрально-растянутых элементов

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (5);$$

Значения коэффициента k_h для рассчитываемых элементов определяют по формулам:

из пиломатериалов
при $h < 150$ мм

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right\} \quad (6)$$

из клееной древесины
при $h < 600$ мм

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \\ \left. 1,1 \right\} \quad (7)$$

из LVL
при длине элемента $l < 600$ мм

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \\ \left. 1,1 \right\} \quad (8)$$

2 Расчет центрально-сжатых элементов

К элементам, подверженным сжимающему действию нагрузки, направленной параллельно волокнам, т.е. действующей вдоль центральной оси x элемента, как показано на рис.3 относятся: колонны; стойки, элементы каркаса в стенах или подкосы с узловыми соединениями на болтах (шарнирное соединение); элементы ферм (стропильных систем).

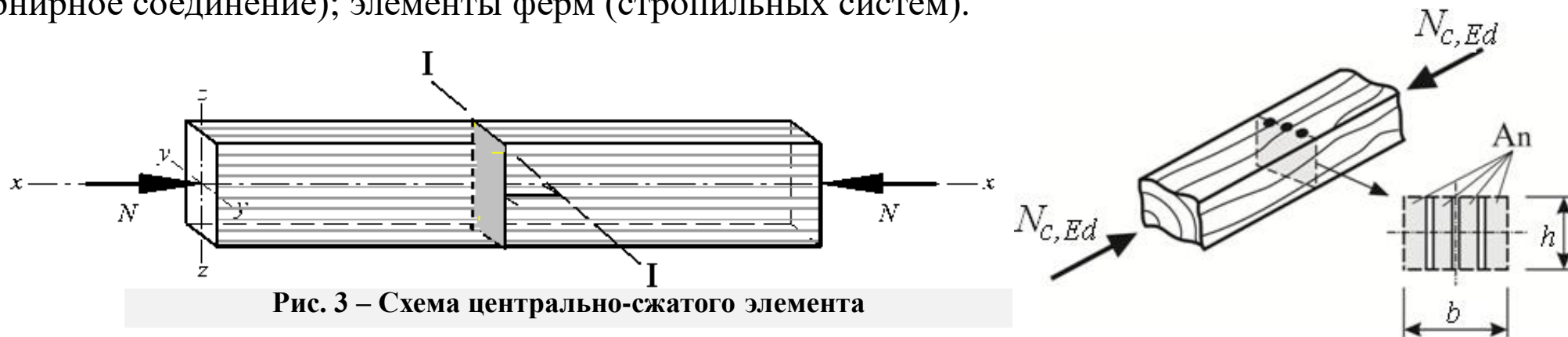


Рис. 3 – Схема центрально-сжатого элемента

Когда элемент подвержен осевому сжатию, его несущая способность зависит от нескольких факторов:

- прочности / жесткости – прочности на сжатие и модуля упругости древесины;
- геометрии элемента – размеров поперечного сечения и длины;
- условия закрепления – поперечного закрепления и закрепление на концах;
- геометрических несовершенств – отклонения от номинальных размеров, начальной кривизна и продольный уклон (сбег);
- отклонения по материалу и несовершенств – плотности, центровки в узлах, эффектов сжатой древесины и ее влажности.

2 Расчет центрально-сжатых элементов

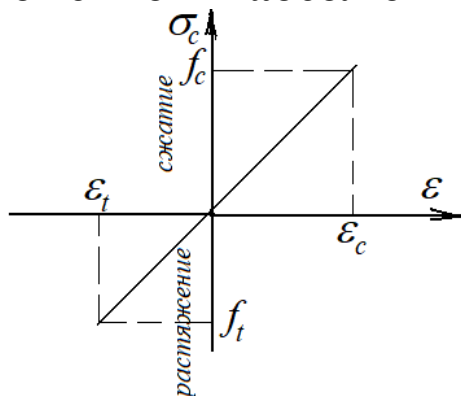
При осевом нагружении, вследствие несовершенства геометрии элемента, изменений его свойств, или комбинации обоих факторов, величина гибкости λ элемента возрастает при поперечном перемещении и в конечном счете наступает разрушение в результате потери устойчивости, как показано на рис.4.

Потеря устойчивости – искривление оси стержня (элемента) при величине напряжений равных прочности материала. Гибкость λ элемента определяется как расчетная длина L_e , деленная на радиус инерции i , т.е.

$$\lambda = \frac{L_e}{i} \quad (9).$$

Значение критической силы, приложенной к абсолютно упругому стержню:

$$N_e = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{L_e^2} \quad (10),$$



где E – модуль упругости материала стержня, Н/мм²
 I_{\min} – момент инерции поперечного сечения стержня, мм⁴;
 L_e – расчетная длина стержня, мм.

Для поперечного сечения прямоугольной формы:

$$\lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i} = \frac{L_{e,z}}{b/\sqrt{12}} \quad (11)$$

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i} = \frac{L_{e,y}}{h/\sqrt{12}} \quad (12)$$

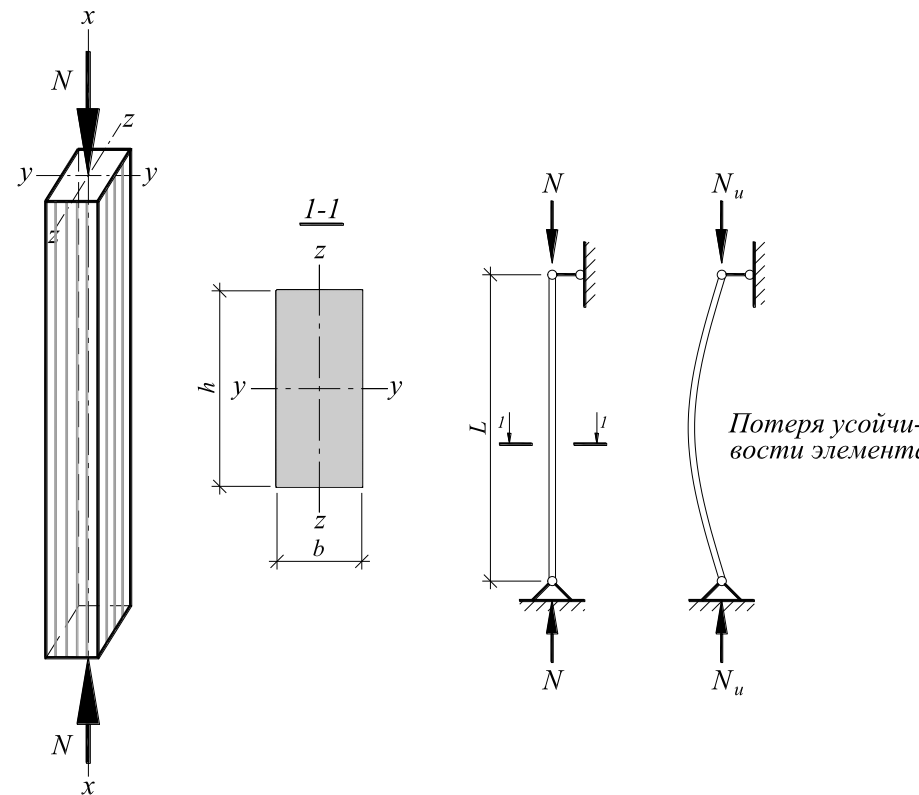
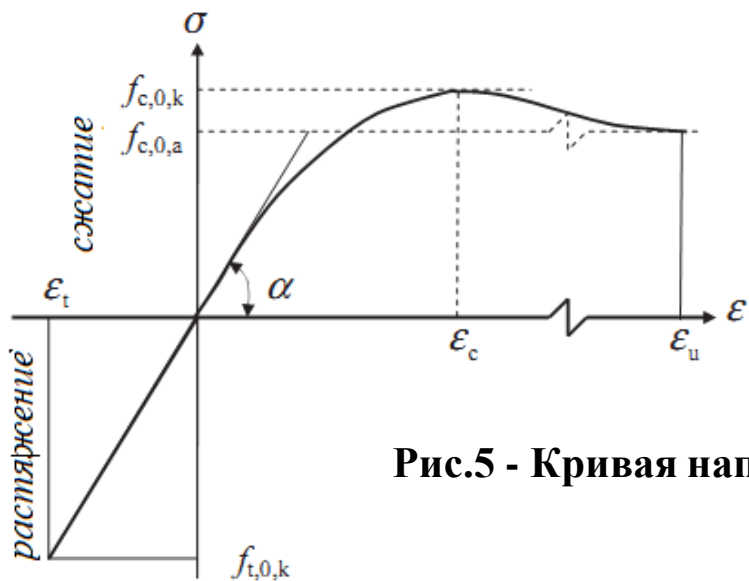
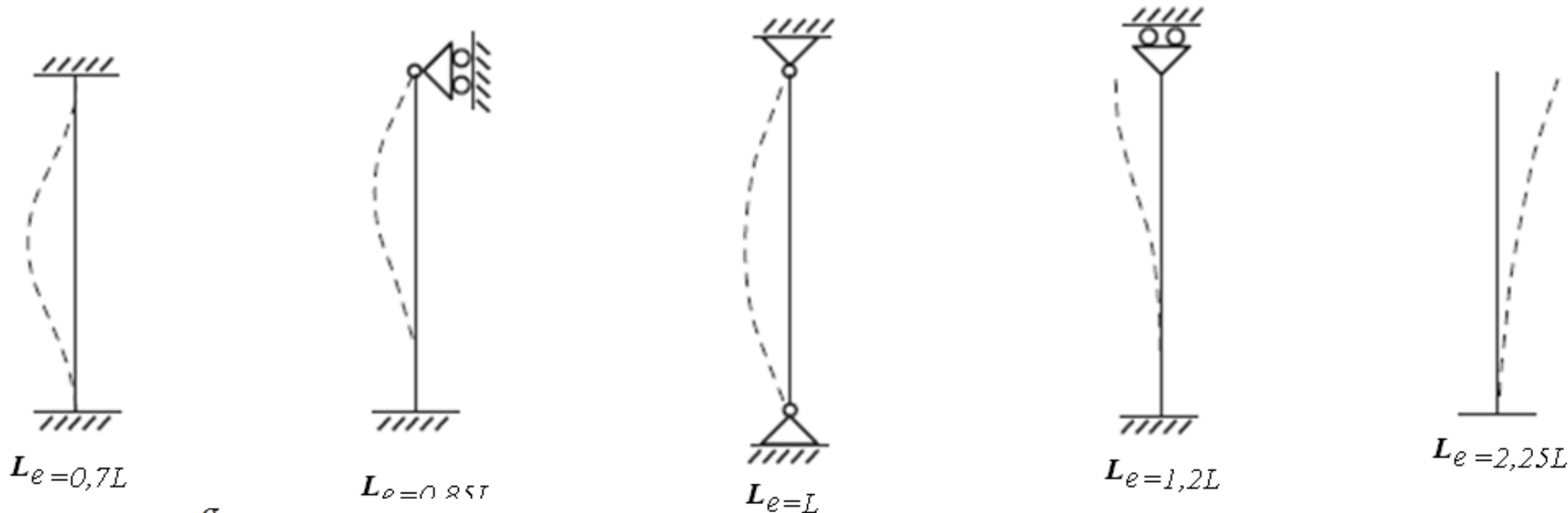


Рис. 4 - Изгиб элемента

2 Расчет центрально-сжатых элементов

Расчетная длина элемента:

$$L_e = \beta_0 \times L \quad (13)$$



$f_{c,0,a}$ – прочность от сжатия при величине разрушающей деформации ϵ_u ;

$$f_{c,0,a} = 0,85 \cdot f_{c,0,k} \quad , \quad tg\alpha = E \quad ,$$

$$\epsilon_c = \frac{1250 \cdot f_{c,0,k}}{E} \quad .$$

Рис.5 - Кривая напряжения-деформации



2 Расчет центрально-сжатых элементов

Критическая сила, при которой произойдет потеря устойчивости относительно оси у-у или z-z в пределах упругой работы материала элемента:

$$N_{E,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_y}{l_y^2} \quad (14),$$

$$N_{E,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{l_z^2} \quad (15),$$

Разделив (14) и (15) на площадь А, получим величину критических значений напряжений при которых произойдет потеря устойчивости сжатого стержня

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\lambda = \frac{l}{i}$$

$$\sigma_{E,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} \quad (16),$$

$$\sigma_{E,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2} \quad (17),$$

В СП 5.05.01 приведенную гибкость λ_{rel} принимают как:

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{f_{m,k}}} \quad (18).$$

$\lambda_{rel,y}$ – приведенная гибкость, соответствующая изгибу относительно оси у-у (т.е. элемент будет отклоняться по оси z-z), и $\lambda_{rel,z}$ – приведенная гибкость, соответствующая изгибу относительно оси z-z (т.е. элемент будет отклоняться по оси у-у).

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (19),$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (20),$$

Если элемент короткий и массивный, потери устойчивости не произойдет и разрушение наступит от исчерпания прочности древесины при сжатии, это происходит когда $\lambda_{rel,y}$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$, т.е. должно выполняться условие:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (21)$$

где $\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,Ed}}{A_d} \quad (22)$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (23);$$

Расчетное значение прочности при сжатии древесины вдоль волокон:

Для сжатых элементов с приведенной гибкостью $\lambda_{rel,y} > 0,3$ и/или $\lambda_{rel,z} > 0,3$ должны выполняться следующие условия:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (24),$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (25).$$

Расчетное значение площади A_d поперечного сечения элемента, которое принимается равным:

1) при ослаблениях, не выходящих на кромки: если их площадь $A_{oc} \leq 0,25 A_{бр}$, то $A_d = A_{бр}$; если $A_{oc} > 0,25 A_{бр}$, то $A_d = 0,75 A_{нт}$; 2) при ослаблениях выходящих на кромки - $A_d = A_{нт}$.

2 Расчет центрально-сжатых элементов

Рассматривая весь диапазон классов прочности древесины и учитывая геометрические несовершенства, были получены значения прочности древесины при изгибе в зависимости от изменения гибкости (в т.ч. для клееных многослойных элементов). Исходя из этих данных, приближенная кривая, полученная из значений $\lambda_{rel,y}$ (или $\lambda_{rel,z}$) и полученные на их основе величины снижения прочности $k_{c,y}$, называют коэффициентом продольного изгиба (рис. 6).

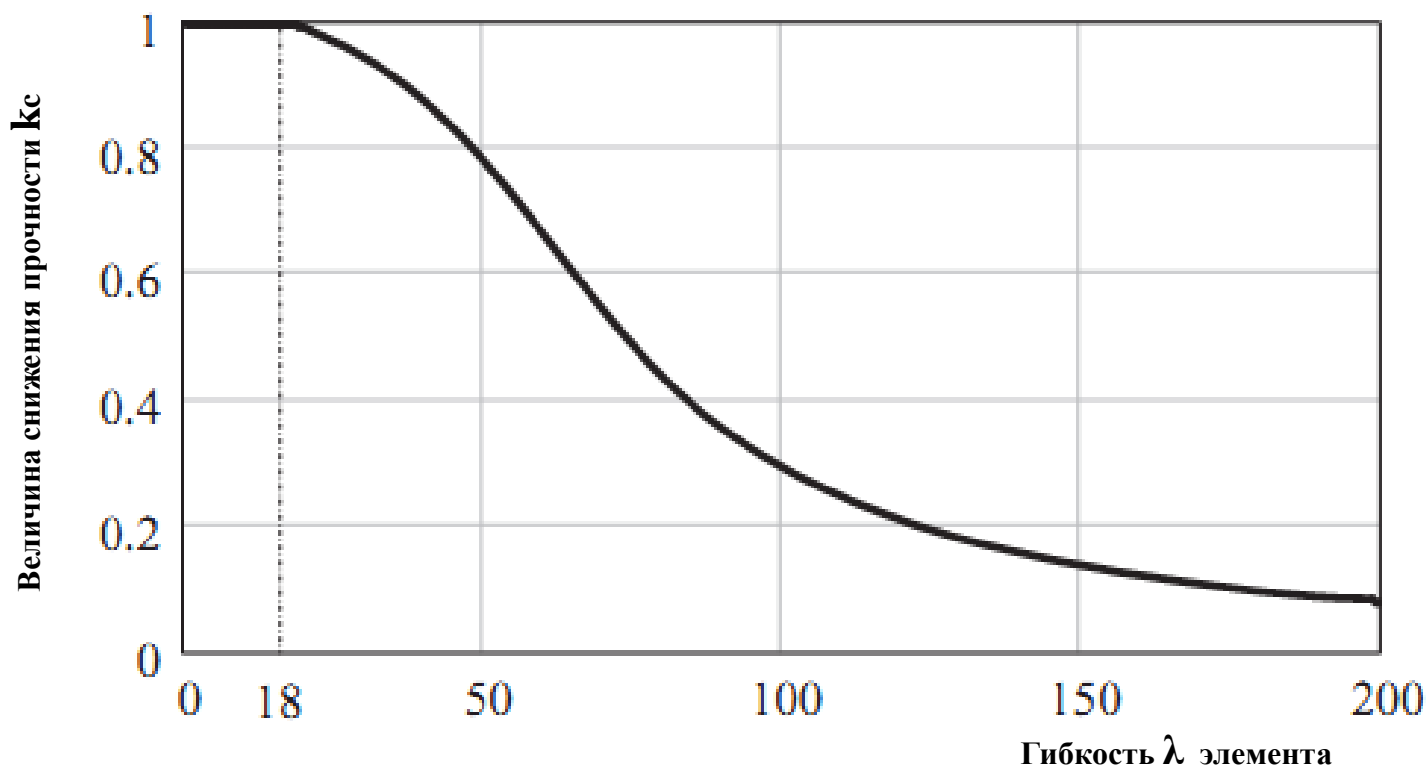


Рис.6 – Зависимость снижение прочности в сечении сплошного элемента из древесины при сжатии с увеличением гибкости

2 Расчет центрально-сжатых элементов

Коэффициенты продольного изгиба $k_{c,y}$ и $k_{c,z}$ определяется по формулам:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \quad (25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \quad (26)$$

где

$$k_y = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right], \quad (27)$$

$$k_z = 0,5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right]. \quad (28)$$

здесь $\beta_c=0,2$ для сплошных деревянных элементов;

$\beta_c=0,1$ для многослойных клееных деревянных элементов и LVL.

Таблица 1 - Предельные гибкости элементов конструкций

Элементы конструкций	Предельная гибкость λ
Сжатые пояса, опорные раскосы и опорные стойки ферм, колонны	120
Прочие сжатые элементы ферм и других сквозных конструкций	150
Сжатые элементы связей	200
Растянутые пояса ферм в вертикальной плоскости	150
Прочие растянутые элементы ферм и других сквозных конструкций	200

3 Проверка опорных площадок элементов, подверженных сжатию под углом α к

ВОЛОКНАМ

Расчетное значение напряжения должно удовлетворять следующему условию:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (1)$$

Расчетное значение напряжения $\sigma_{c,\alpha,d}$ от действия сжимающего усилия N_d , действующего под углом α к волокнам древесины:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cos \alpha}{bh}$$

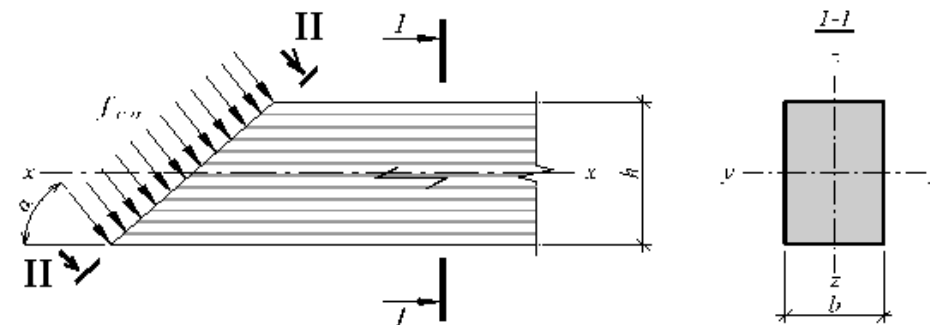
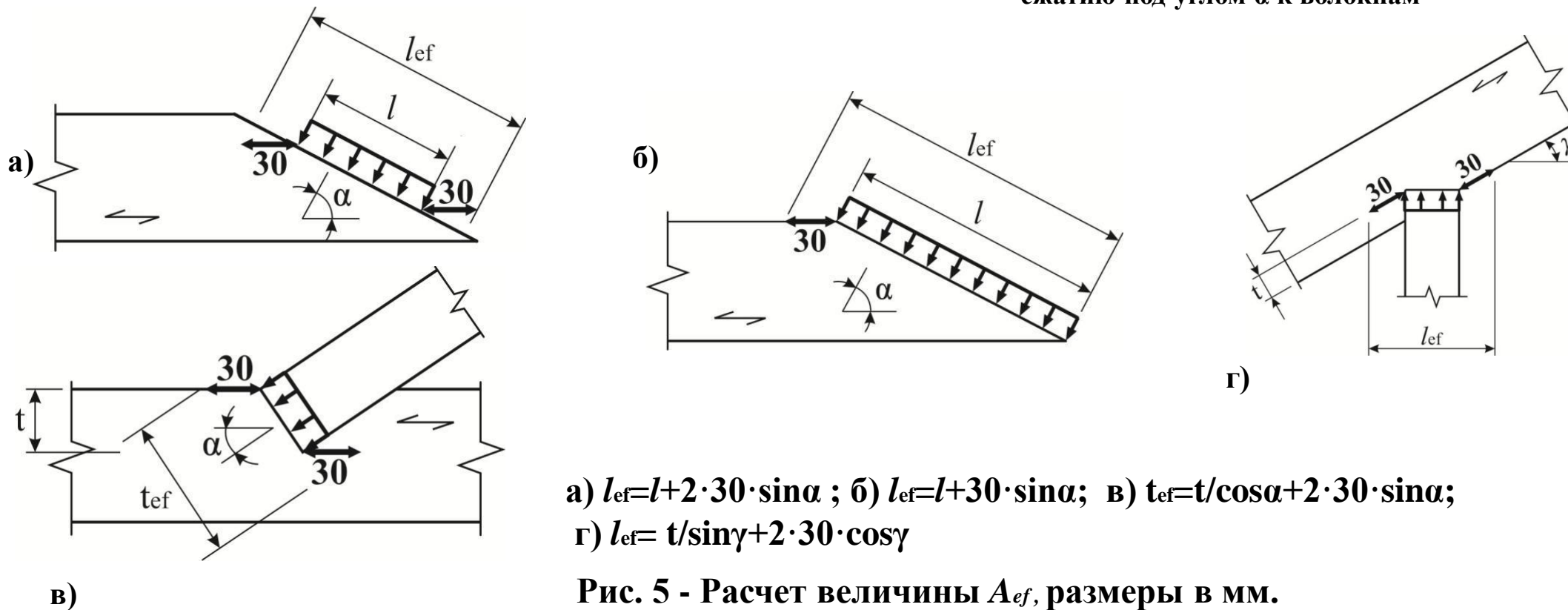


Рис. 4 - Общий вид площадки элемента, подверженной сжатию под углом α к волокнам



3 Проверка опорных площадок элементов при смятии/сжатии древесины поперек волокон

ВОЛОКОН

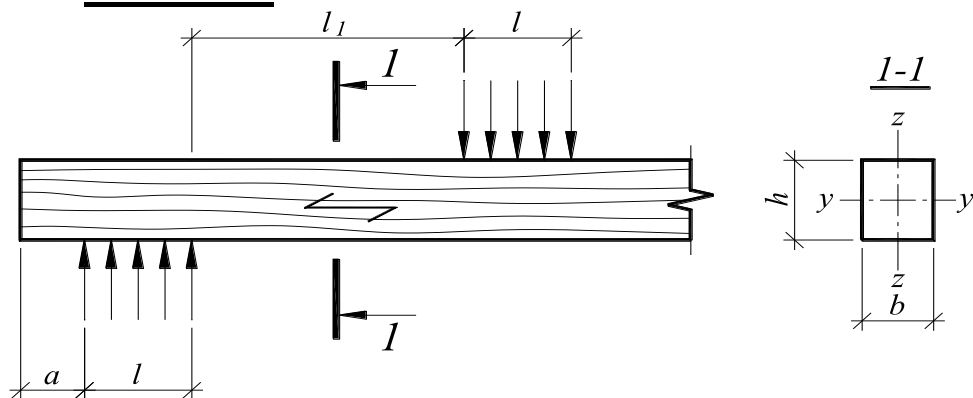


Рис. 5 - Схема опирания элемента на отдельные опоры
 $k_{c,90}=1,5$ – для элементов из цельной древесины хвойных пород;
 $k_{c,90}=1,75$ – для элементов из клееной древесины хвойных пород
 при $l \leq 400$ мм

При сжатии поперек волокон должно соблюдаться следующее условие:

Расчетное значение напряжения сжатию поперек волокон:

Расчетное значение прочности при сжатии древесины поперек волокон:

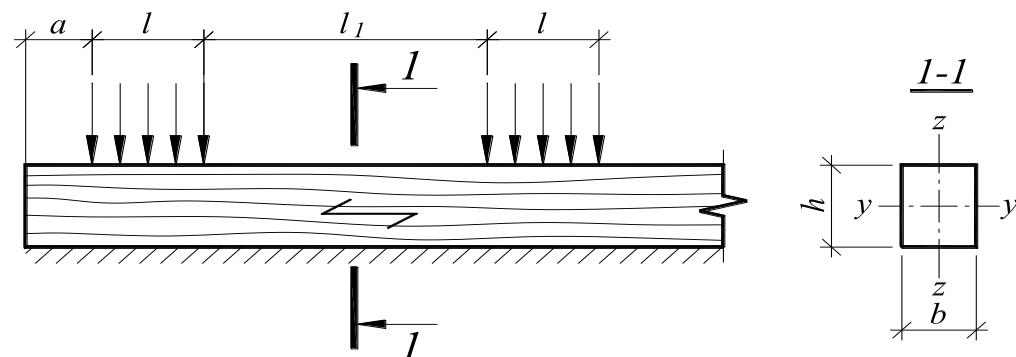


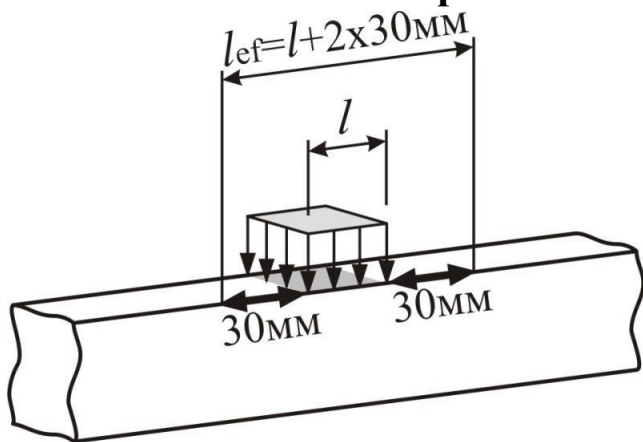
Рис. 6 - Схема опирания элемента на сплошную опору
 $k_{c,90}=1,25$ – для элементов из цельной древесины хвойных пород;
 $k_{c,90}=1,5$ – для элементов из клееной древесины хвойных пород

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (2)$$

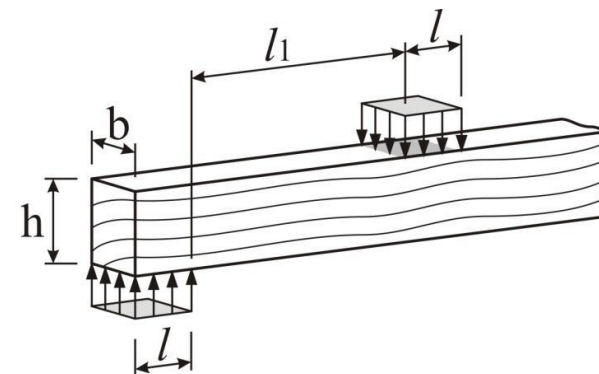
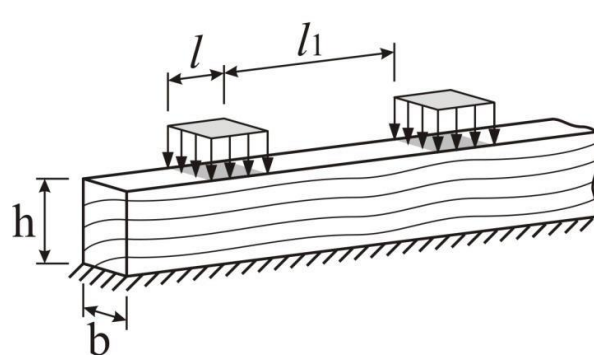
$$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{ef} \quad (3)$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

для цельной древесины (при $l_1 \geq 2h$)



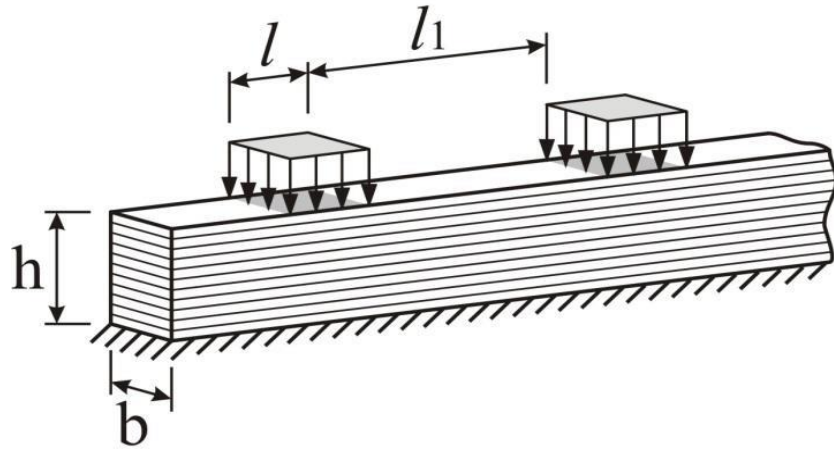
а) $k_{c,90}=1,25$



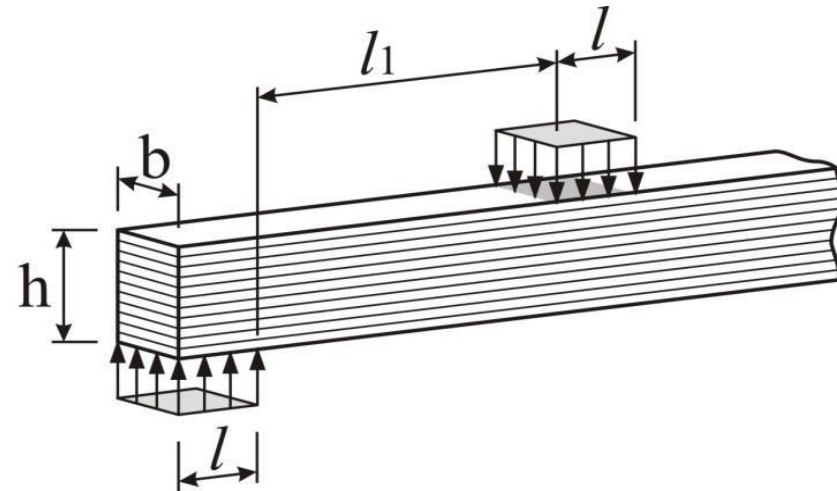
б) $k_{c,90}=1,5$

3 Проверка опорных площадок элементов при смятии/сжатии древесины поперек волокон

для клееной древесины (при $l_1 \geq 2h$)



$k_{c,90}=1,5$



$k_{c,90}=1,75$

Рис. 7 - Сжатие элементов поперек волокон древесины при сплошном и локальном опирании

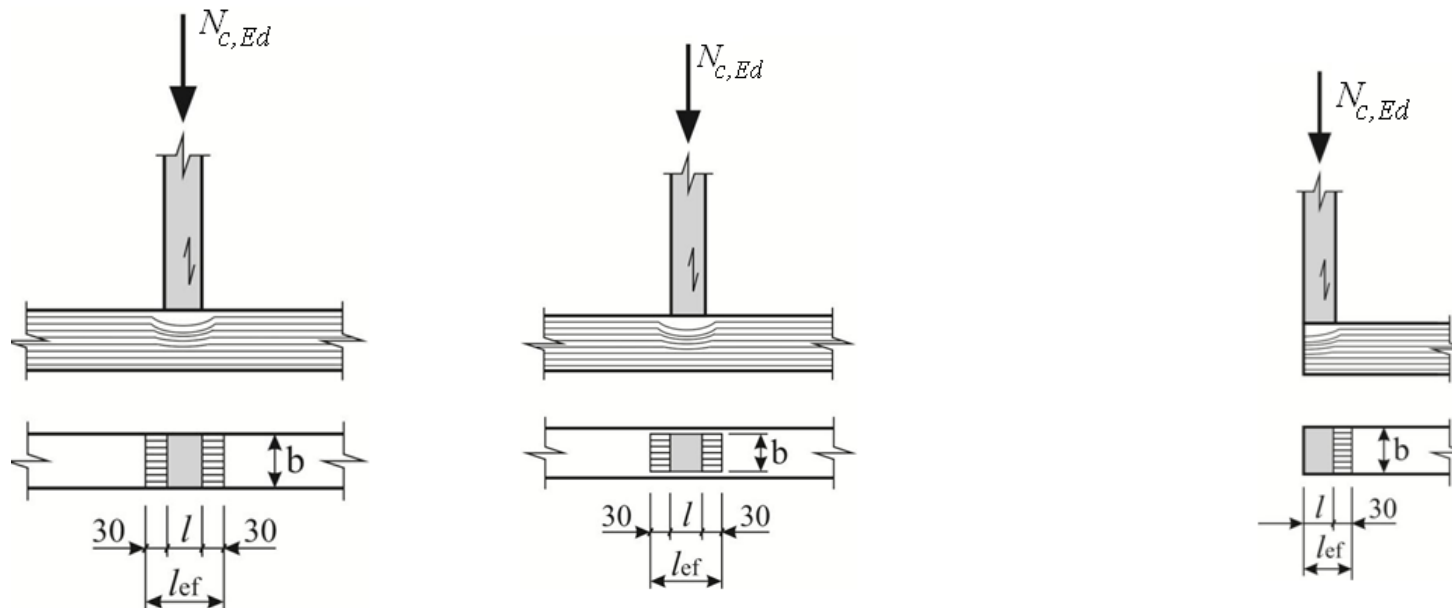
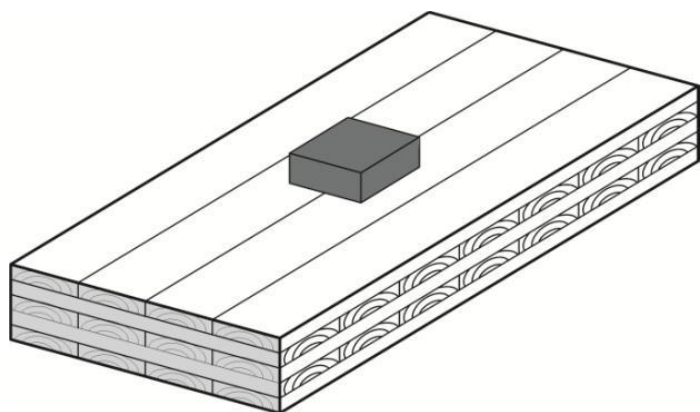
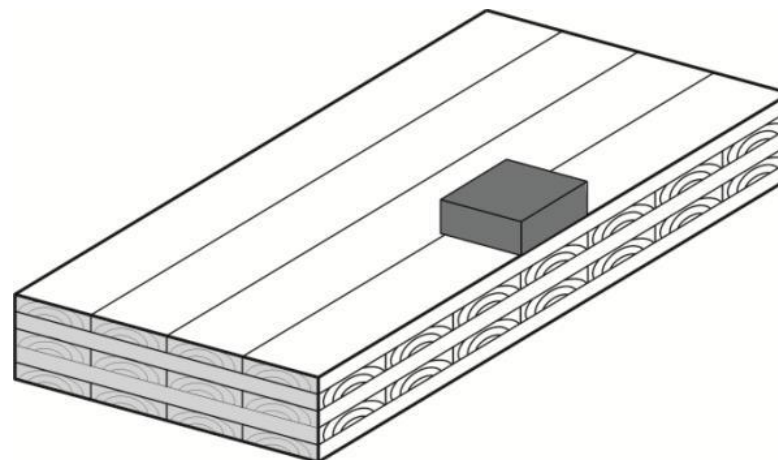


Рис. 8 – Схемы по определению эффективной (расчетной) длины для различных схем приложения нагрузки поперек волокон древесины

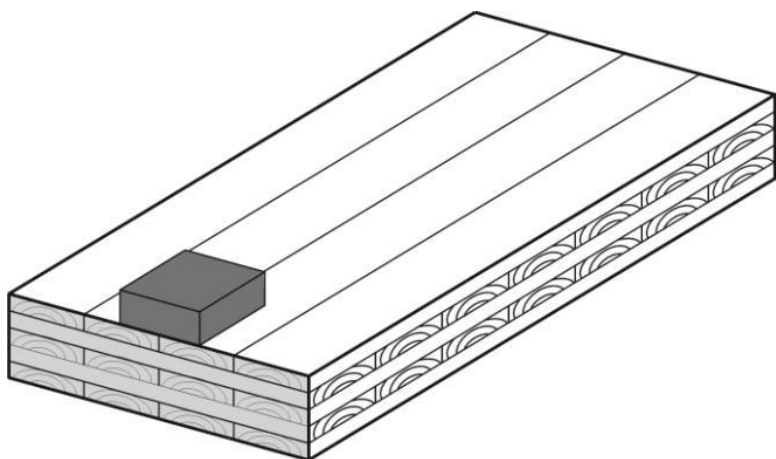
3 Проверка опорных площадок элементов при смятии/сжатии древесины поперек волокон



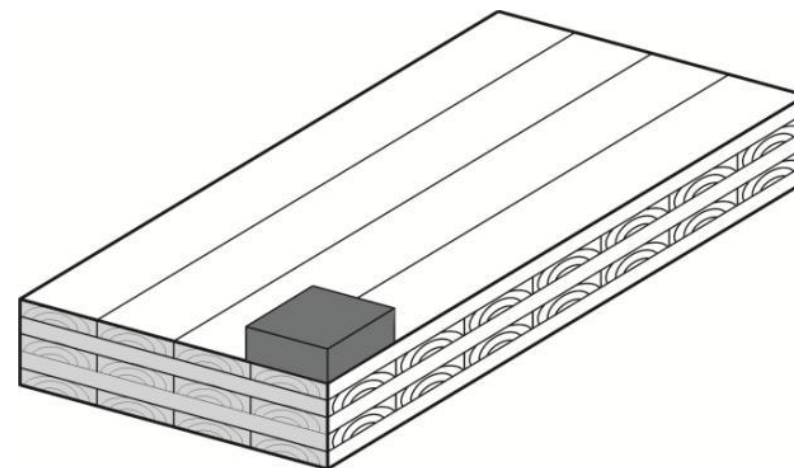
а) по центру панели
 $k_{с,90}=1,8$



б) у кромки вдоль волокон
 $k_{с,90}=1,5$



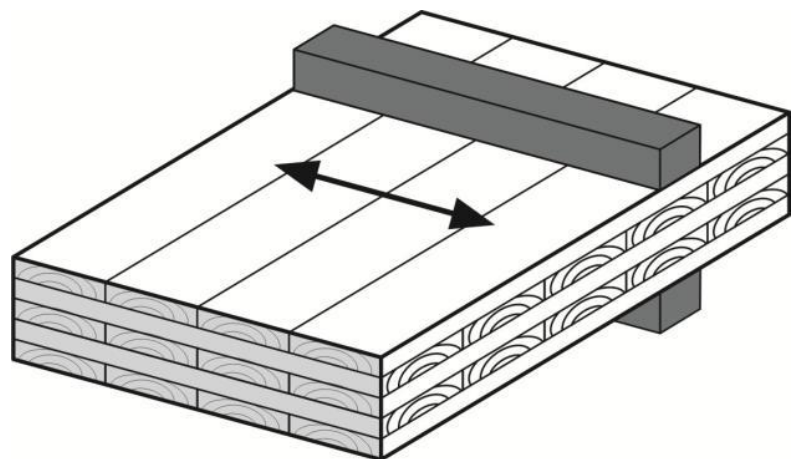
в) у кромки поперек волокон
 $k_{с,90}=1,5$



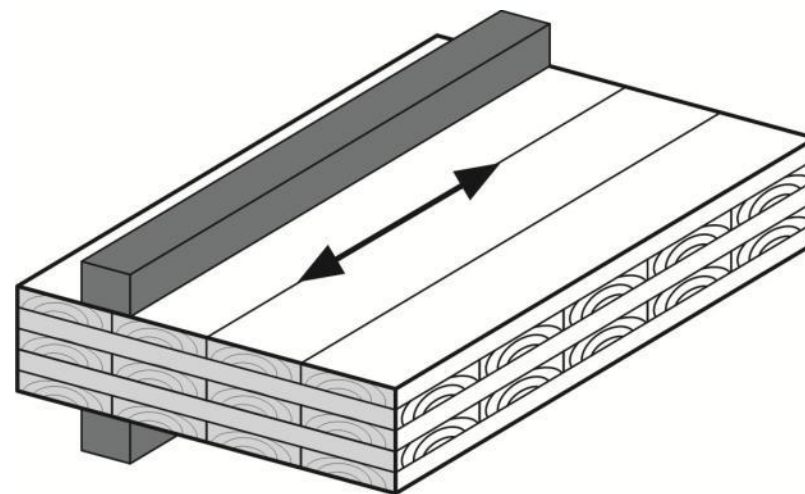
г) в углу панели
 $k_{с,90}=1,3$

Рис. 9 - Коэффициент поперечного сжатия $k_{с,90}$ для CLT панелей при различных вариантах приложения нагрузки

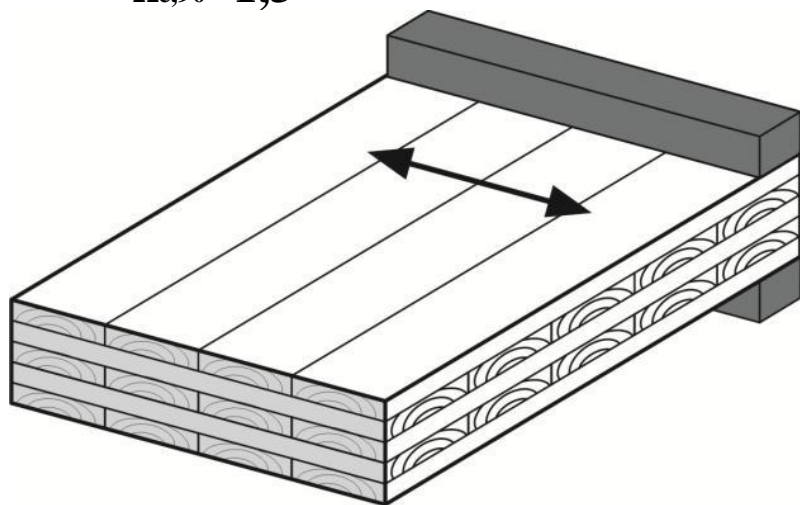
3 Проверка опорных площадок элементов при смятии/сжатии древесины поперек волокон



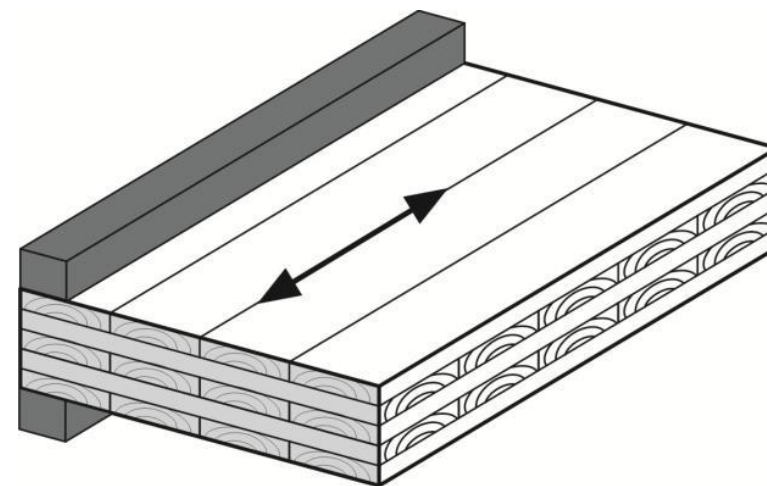
д) по центру вдоль волокон
 $k_{c,90}=1,3$



е) по центру поперек волокон
 $k_{c,90}=1,8$



ж) у кромки вдоль волокон
 $k_{c,90}=1,0$



и) у кромки поперек волокон
 $k_{c,90}=1,5$

Рис. 9 - Коэффициент поперечного сжатия $k_{c,90}$ для CLT панелей при различных вариантах приложения нагрузки



Разработано: кафедра строительных конструкций БрГТУ, д.т.н. Найчук А.Я.

Лекция на тему: «Расчет изгибаемых элементов»

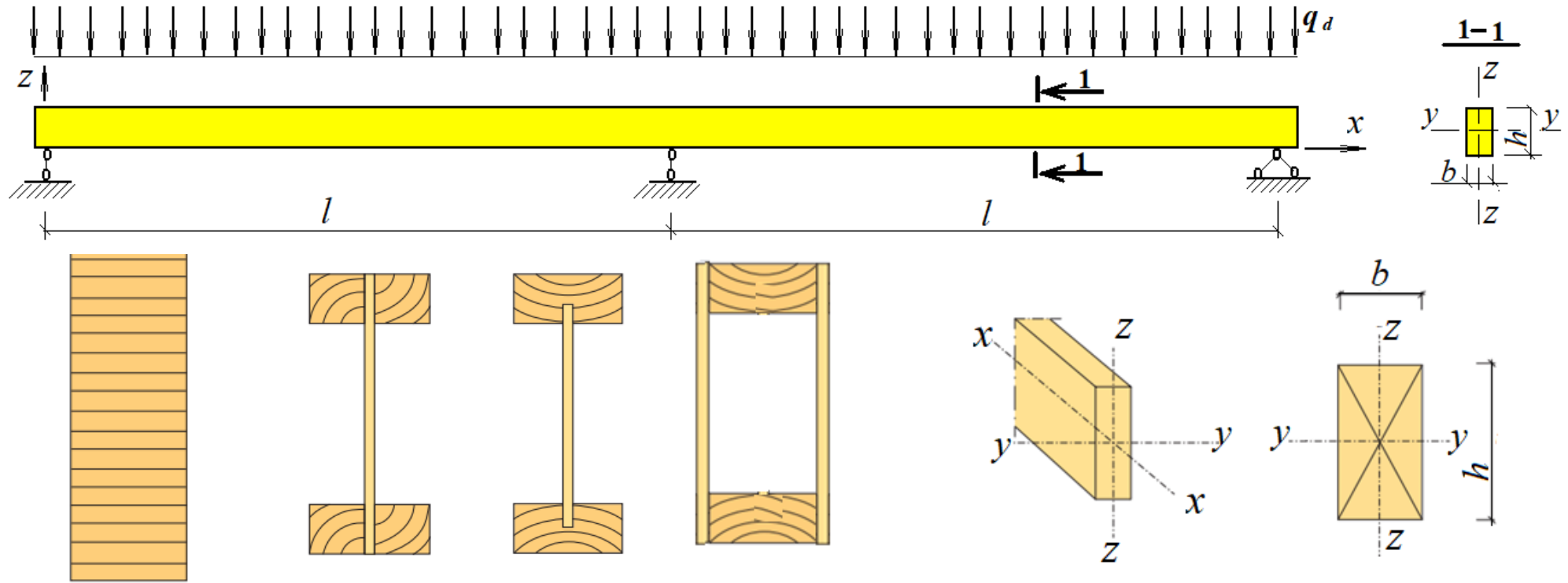
1 Изгибаемые элементы

2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

3 Расчет элементов, изгибаемых в двух плоскостях (косой изгиб)

1 Изгибаемые элементы

Изгибные элементы - это элементы конструкций, которые подвергаются изгибу.



В деревянном строительстве используется несколько типов и форм таких элементов. Примерами таких элементов являются деревянные балки сплошного или составного сечения, лаги пола, прогоны, ребра плит.



2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

Изгибаемые элементы должны быть проверены на выполнение условий предельных состояний несущей способности (USL) и предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS).

Для изгибаемых элементов расчет предельных состояний несущей способности включает:

- проверку сохранения статического равновесия (скольжение или отрыв элемента от опор рис. 1);

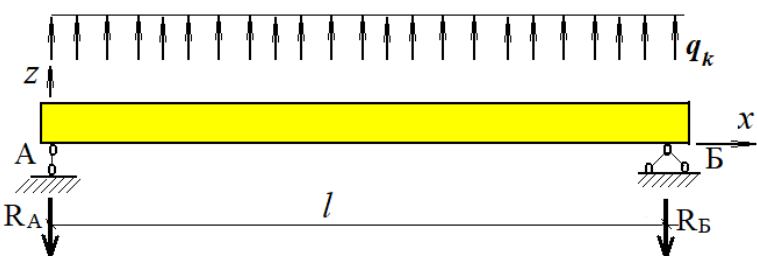


Рис. 1

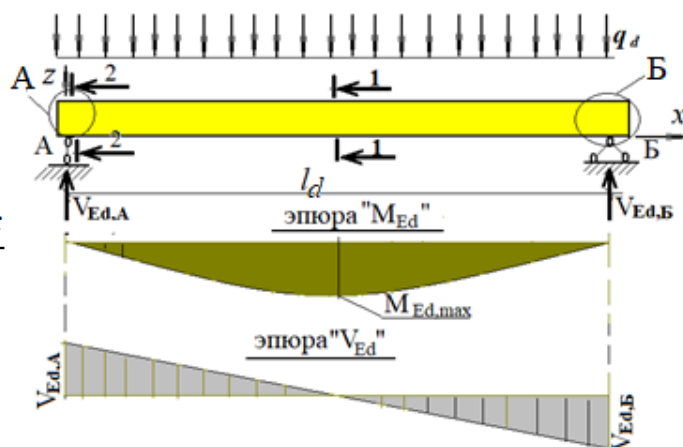


Рис. 2

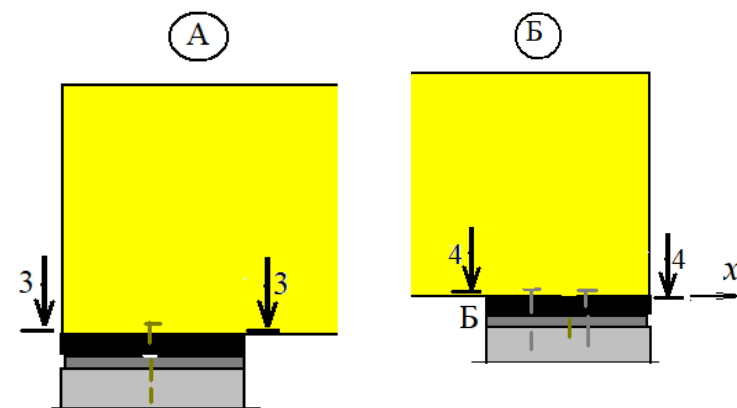


Рис. 3

- проверку прочности древесины в нормальном сечении 1-1 при изгибе элемента, где имеет место действия максимального изгибающего момента $M_{Ed,max}$ (рис. 2);
- проверку устойчивости плоской формы деформирования;
- проверку прочности древесины сдвигу в сечении 2-2, где имеет место действия максимальной по значению поперечной силы (усилия сдвига) $V_{Ed,max}$ (рис.2);
- проверку прочности древесины сжатию в сечениях 3-3 и 4-4 опорных площадок элемента.



2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

для изгибаемых элементов (балок) напряжение сжатия (смятия) под опорными площадками принимается равномерно распределенным. Длина опорной площадки должна быть рассчитана из условия прочности древесины при сжатии поперек волокон.

Расчетный пролет l_0 балки принимается равным пролету в свету плюс половина длины опорной площадки у каждой опоры. Для сплошных деревянных балок и балок перекрытия, также как и для составных балок покрытия, учитывается дополнительная длина в 50 мм, добавляемая к пролету в свету, а для составных балок пролетами до 12 м – дополнение должно составлять 100 мм.

При проверке предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности должен быть проверен каждый расчетный эффект (расчетное усилие или расчетное значение прогиба). Для каждого расчетного эффекта должно использоваться максимальное по значению сочетание воздействий. В случае предельного состояния несущей способности, наибольшие значения будут получены при основных сочетаниях воздействий.

Прочность материала должна быть определена для каждого сочетания воздействий с учетом соответствующих значений коэффициента k_{mod} . В случае, когда сочетание воздействий включает воздействия, относящиеся к различным классам по продолжительности, коэффициент k_{mod} принимается для самого непродолжительного воздействия. При рассмотрении состояний равновесия k_{mod} не учитывается.

Для изгибаемых элементов расчет предельных состояний эксплуатационной пригодности включает:

- проверку условия по не превышению допустимых перемещений (прогибов);
- проверку условия по не превышению допустимых колебаний.

2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

А) Проверка прочности древесины в нормальных сечениях изгибаемого элемента

Проверку элементов по нормальным напряжениям $\sigma_{m,d}$ выполняют без учета различных значений модулей упругости в сжатой и растянутой зонах, (рис. 4), т.е. выполняют приближенно.

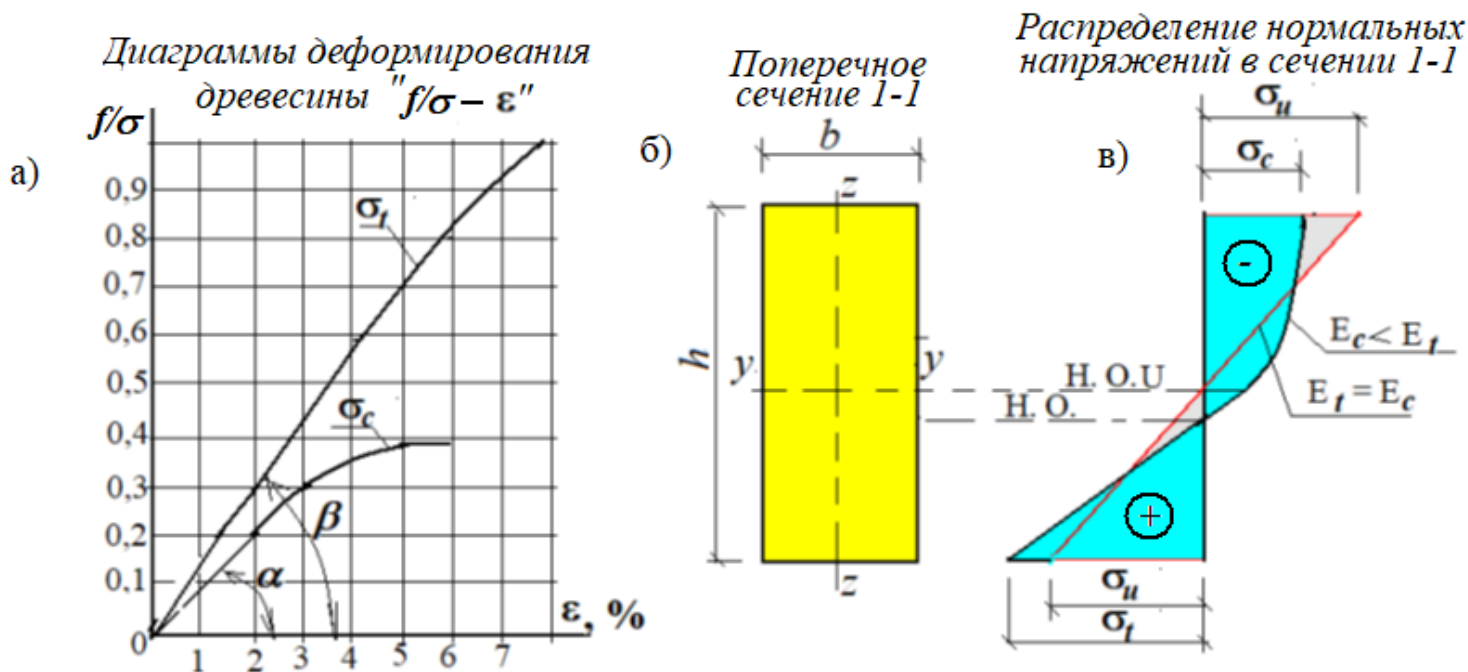


Рис. 4

Из рис. 4в видно, что в сжатой зоне развиваются большие нелинейные деформации, которые нарушают прямолинейность распределения нормальных напряжений $\sigma_{m,d}$ по высоте поперечного сечения. Таким образом, нормальные напряжения $\sigma_{m,d}$ определяют при двух допущениях:

- считается, что модули упругости в растянутой и сжатой зонах равны, т.е. $E_t = E_c$;
- принимается прямолинейное распределение нвапряжений по высоте элемента (красная линия рис. 4в).



2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

При принятых допущениях расчетные значения нормальных напряжений $\sigma_{m,y,d}$ в элементах, **обеспеченных от потери устойчивости плоской формы деформирования** ($\lambda_{rel,m} \leq 0,75$), определяют по формуле

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y,max}}{W_{y,d}} \quad (1),$$

где $M_{Ed,y,max}$ – расчетное значение изгибающего момента в сечении при изгибе относительно оси Y;

$W_{y,d}$ – расчетное значение момента сопротивления проверяемого сечения относительно оси Y.

Прочность древесины в нормальном сечении изгибаемого элемента считается обеспеченной если соблюдается следующее условие

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d} \quad (2),$$

где $f_{m,y,d}$ – расчетное значение прочности древесины при изгибе элемента относительно оси Y.

Расчетное значение прочности материала элемента при его изгибе определяется по формуле (3).

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_{hy} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (3).$$

2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

Б) Проверка устойчивости плоской формы деформирования

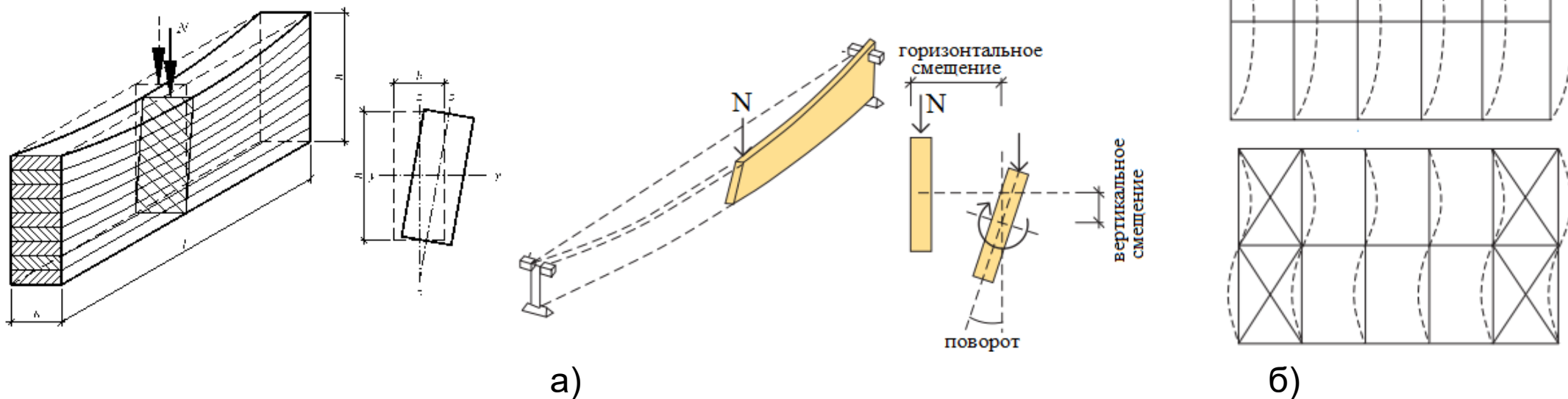


Рис. 5 – Схема потери устойчивости плоской формы деформирования

При проверке изгибаемого относительно оси Y элемента для которого приведенная (относительная) гибкость которого $\lambda_{rel,m} > 0,75$, должно соблюдаться условие

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,y,d} \quad (4),$$

где $\sigma_{m,y,d}$ – расчетное значение напряжения при изгибе элемента относительно оси Y ;
 $f_{m,y,d}$ – расчетное значение прочности материала элемента при изгибе относительно оси Y ;
 k_{crit} – коэффициент, учитывающий понижение прочности при изгибе вследствие кручения с изгибом.



2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{при } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{при } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{при } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (5),$$

Относительная гибкость $\lambda_{rel,m}$ изгибаемого элемента определяется по формуле (6)

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6),$$

где $\sigma_{m,crit}$ – критическое напряжение при изгибе, определяемые по формуле

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} \quad (7),$$

здесь $E_{0,05}$ – 5% -й квантиль модуля упругости вдоль волокон;

$G_{0,05}$ – 5% -й квантиль модуля сдвига вдоль волокон;

I_z – момент инерции поперечного сечения относительно оси z-z (рис. 5);

I_{tor} – момент инерции сечения при кручении;

l_{ef} – эффективная (приведенная) длина пролета изгибаемого элемента, зависящая от условий опирания и конфигурации нагрузки, принимаемая из табл. 1;

W_y – момент сопротивления поперечного сечения относительно оси y-y (рис.4);

$M_{y,crit}$ – упругий критический момент.



2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

Изгибающий момент $M_{y,crit}$ зависит от вида нагрузки, прикладываемой к изгибаемому элементу, его длины и условий закрепления, места приложения нагрузки к элементу относительно центра его тяжести, модуля сдвига и модуля упругости материала элемента, а также размеров поперечного сечения.

При расчете изгибаемых элементов (балок) сплошного прямоугольного сечения из хвойных пород древесины, с учетом эффективной (приведенной) длины, формула (7) может быть записана следующим образом:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78b^2}{hl_{ef}} E_{0.05} \quad (8)$$

При расчете элементов прямоугольного сечения, изготовленных из твердых пород древесины, LVL или клееной слоистой древесины, формула (7) может быть записана в следующем виде:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot \sqrt{E_{0.05} \cdot G_{0.05} \cdot \left(1 - 0,63 \frac{b}{h}\right)} \quad (9),$$

где l_{ef} – приведенная длина элемента, которая в зависимости от условий закрепления и вида нагрузки, принимается из табл.1



2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

Таблица 1 – Отношение приведенной длины к расчетному пролету изгибаемого элемента (балки)

Условия закрепления изгибаемого элемента	Вид нагрузки	l_{ef}/l^*
Свободное (шарнирное) опирание	Постоянный момент	1.0
	Равномерно распределенная нагрузка	0.9
	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета	0.8
	Сосредоточенные нагрузки на $1/4$ и $3/4$ пролета	0.96
	Момент M на одном конце и $M/2$ в обратном направлении на другом конце	0.76
	Момент M на одном конце и его отсутствие на другом	0.53
Полное закрепление на обоих опорах	Равномерно распределенная нагрузка	0.78
	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета	0.64
Свободное опирание и закрепление от поперечного перемещения при кручении в середине пролета	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета	0.28
Консоль**	Равномерно распределенная нагрузка	0.5
	Сосредоточенная нагрузка на свободном конце	0.8

* Отношение между эффективной длиной l_{ef} и расчетным пролетом l справедливо для балок, нагруженных в центре тяжести. Если нагрузка приложена к сжатой поверхности балки, l_{ef} должна быть увеличена на $2h$ (где h – высота балки), а при нагружении по растянутой стороне балки l_{ef} должна быть уменьшена на $0.5h$.

** Для данного случая один конец консоли закреплен в поперечном направлении, закреплен от кручения и от поворота в плоскости, а второй конец свободный и может перемещаться в поперечном направлении и поворачиваться.

2 Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости

В) Проверка прочности древесины сдвигу в сечении, где имеет место действия максимальной по значению поперечной силы (усилия сдвига) $V_{Ed,max}$

При расчете изгибаемых элементов на сдвиг должно соблюдаться следующее условие:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (10)$$

Расчетные значения сдвигающих (касательных) напряжений:

$$\tau_d = \frac{V_d S}{I b_{ef}} \quad (11)$$

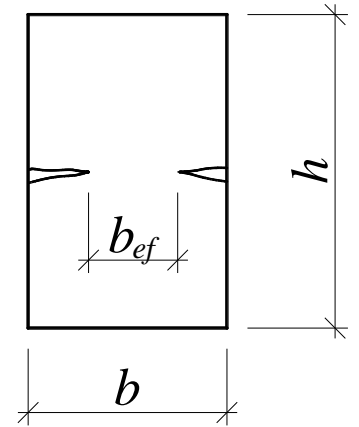


Рис. 6 – Характеристики сечения

здесь:

$$b_{ef} = b K_{cr} \quad (12)$$

Расчетное значение прочности при сдвиге (скалывании):

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (13)$$

3 Расчет элементов, изгибаемых в двух плоскостях (косой изгиб)

А) Проверка прочности древесины в нормальных сечениях изгибаемого элемента

Если элемент подвержен косому изгибу, а относительная гибкость относительно оси Y $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$, должны соблюдаться

следующие условия:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (14)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (15)$$

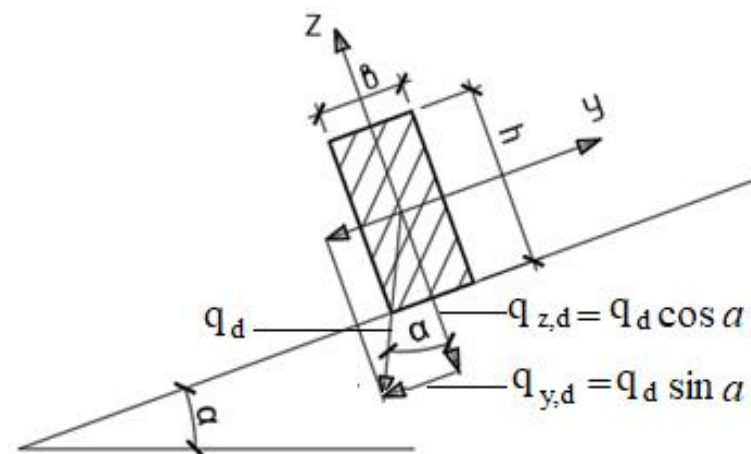


Рис. 7 – Схема косоуго изгиба элемента

где $\sigma_{m,y,d}$ и $\sigma_{m,z,d}$ – расчетные значения напряжений при изгибе относительно осей Y и Z соответственно (рис.4);

k_m – коэффициент, который учитывает распределение напряжения в элементе с учетом нелинейного деформирования материала, т.е. эффект изменения свойств материала. Значения данного коэффициента $k_m = 0,7$ – для сплошных деревянных элементов и LVL прямоугольного поперечного сечения, а также клееных слоистых элементов; $k_m = 1,0$ – для других конструкционных материалов на основе древесины и любого поперечного сечения;

$f_{m,y,d}$ $f_{m,z,d}$ – расчетные значения прочности материала в сечении элемента при его изгибе относительно осей Y и Z соответственно.



3 Расчет элементов, изгибаемых в двух плоскостях (косой изгиб)

Для прямоугольного сечения шириной b и высотой h расчетные значения напряжений при изгибе относительно главной (Y) и второстепенной (Z) осей определяются из выражений

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_{y,d}} \quad (16),$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_{z,d}} \quad (17).$$

где $M_{Ed,y}$ и $M_{Ed,z}$ – расчетные значения изгибающих моментов относительно главной ($y-y$) и второстепенной ($z-z$) осей;

$W_y = (bh^2)/6$ и $W_z = (hb^2)/6$ – моменты сопротивления относительно главной ($y-y$) и второстепенной ($z-z$) осей.



Лекция на тему: «Расчет сжато-изгибаемых и растянуто-изгибаемых элементов»

- 1 Сжато-изгибаемые и растянуто-изгибаемые элементы деревянных конструкций (элементы, воспринимающие совместное действие продольного усилия и изгиба)**
- 2 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие сжатия и изгиба**
- 3 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие растяжения и изгиба**

1 Сжато-изгибаемые и растянуто-изгибаемые и элементы деревянных конструкций

Сжато (растянуто)-изгибаемый элемент - это элемент конструкции, который подвержен совместному действию сжимающей (растягивающей) силы, приложенной в центре тяжести сечения, и поперечного изгиба (рис.1).

Внецентренно сжатый (растянутый) элемент - это элемент конструкции, который подвержен действию сжимающей (растягивающей) силы, приложенной не в центре тяжести сечения (рис. 2).

Такое сложное напряженное состояние элементов возникает в следующих случаях: при совместном действии продольной силы и поперечной нагрузки; при внецентренном приложении продольной силы; при несимметричном ослаблении поперечного сечения сжатого элемента; в сжатых криволинейных элементах (арки, ригели и стойки трехшарнирных рам; верхних поясах сегментных ферм); ребра стеновых несущих панелей.

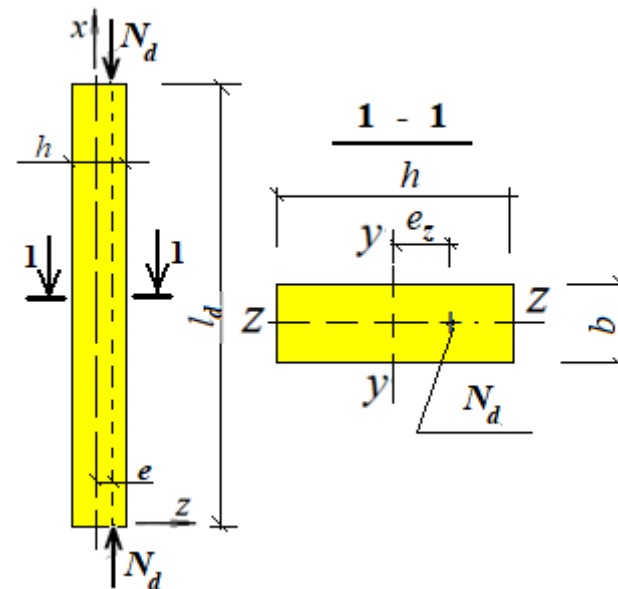
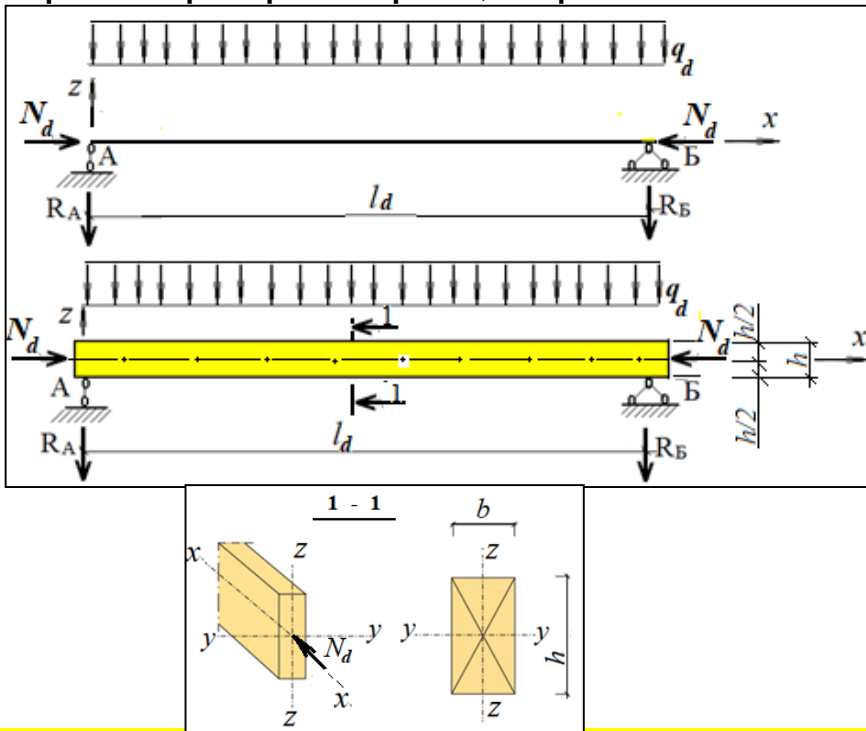
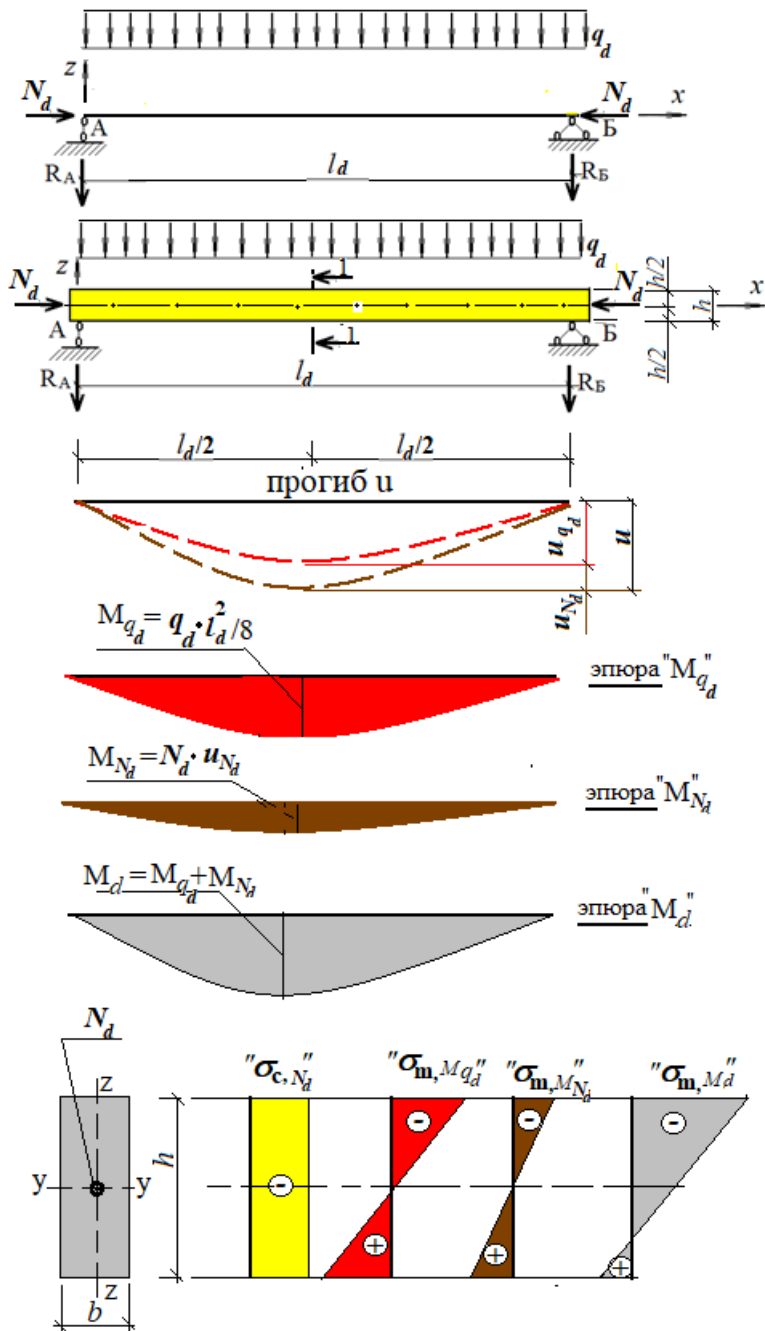


Рис. 2 – Схема внецентренно сжатого элемента

Рис. 1 – Схема сжато-изгибаемого элемента

1 Сжато-изгибаемые элементы деревянных конструкций

Сжато-изгибаемые элементы



При расчете сжато-изгибаемых и внецентренно изгибаемых элементов применяются различные правила. Вместе с тем, такое разделение приводит к определенным сложностям в понимании сущности расчета. Эти два случая могут быть объединены в общую процедуру расчета. В общем подходе, для конкретного случая, устанавливают свои ограничения (условия), но общая методология расчета элемента конструкции, подверженного комбинированному действию сжатия и изгиба, остается прежней. Такая процедура расчета применима к любому элементу, подверженному совместному действию изгиба и сжатия, которую мы рассмотрим ниже. Такой подход расчета элементов при совместном действии изгиба и сжатия принят в СП 5.05.01.

2 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого сжатия и изгиба

Для понимания методологии расчета при совместном осевом сжатии и изгибе рассмотрим несколько случаев на примере внецентренно сжатого элемента:

1) Устойчивость плоской формы деформирования элемента при его изгибе относительно оси Y обеспечена, т.е. $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$.

К данному случаю можно отнести элементы, подверженные комбинированному действию осевой и поперечной нагрузки, как показано на рис.3, при внецентренном сжатии вдоль оси X.

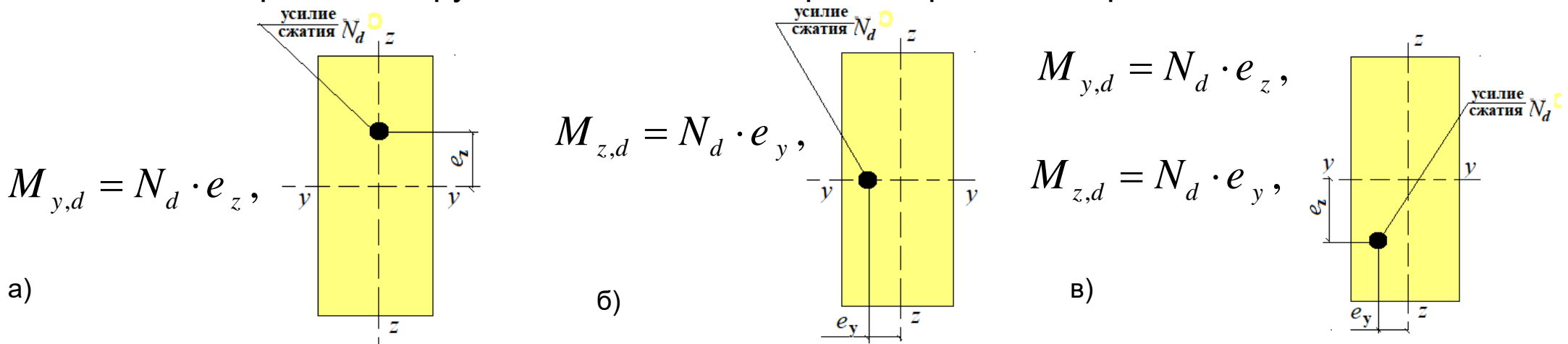


Рисунок 3 – Внецентренное нагружение

Поведение элемента при осевом сжатии (e_z и $e_y = 0$) было рассмотрено в лекции №3 при условии обеспечения устойчивости от потери плоской формы деформирования. При данных условиях и нагружении могут возникнуть две формы разрушения элемента:

- а) если $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$, продольного изгиба не наблюдается и разрушение будет зависеть от прочности материала элемента на сжатие;
- б) если $\lambda_{rel,y} > 0,3$ или $\lambda_{rel,z} > 0,3$, в элементе возникает продольный изгиб, а его разрушение зависит от прочности материала элемента на сжатие, умноженной на соответствующий коэффициент продольного изгиба, т.е. $k_{c,y}$ (или $k_{c,z}$).

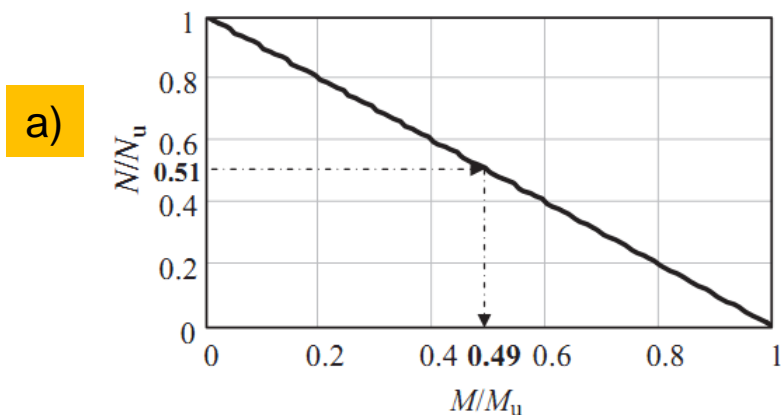
2 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого сжатия и изгиба

В СП 5.05.01 при расчете элементов для вышеприведенных условий установлено следующие:

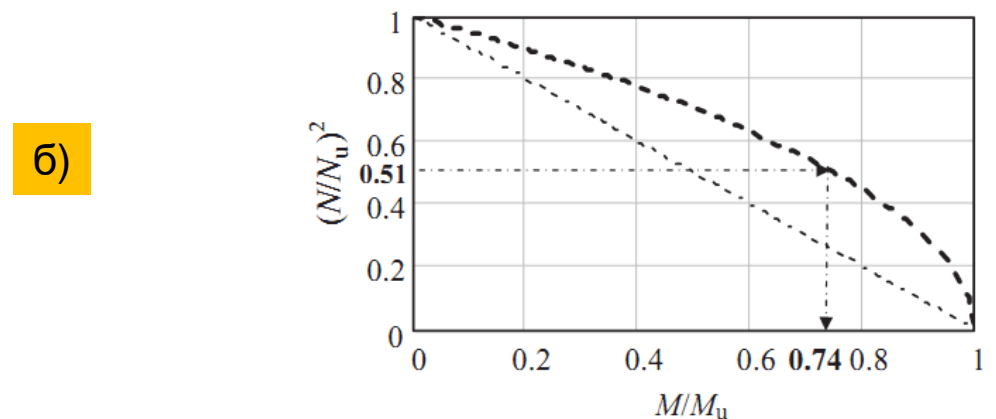
а) когда $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$

Поскольку при данном условии величина общих сжимающих напряжений в нормальном сечении в основном обусловлена не изгибом, а действием сжимающей силы, то в СП 5.05.01 при оценке прочности древесины учитывается нелинейное поведение древесины при действии сжимающих напряжений, т.е. используется решение с применением нелинейной теории.

При применении упругой теории, отношение суммарной величины комбинации осевого напряжения и напряжения изгиба к прочности не может превышать единицы. При применении решения нелинейной теории, отношение осевого напряжения к осевой прочности становится квадратичной функцией, позволяя принять для элемента более высокое значение отношения напряжения изгиба к прочности на изгиб при том же значении отношения осевого напряжения к осевой прочности (рис. 4). Например, при отношении величины осевого напряжения к прочности, равной 0,51, прочность возрастает при использовании нелинейной теории по отношению к упругой теории примерно на 50% (рис. 4).



а) - упругое решение



б) - решение с учетом нелинейного деформирования

Рис.4 - Критериальные зависимости для комбинированного изгиба и осевого сжатия элемента



2 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого сжатия и изгиба

Из-за учета нелинейного деформирования древесины при сжатии вдоль волокон и условию, что $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$, в СП 5.05.01 используют следующие расчетные выражения:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (1) \text{ эквивалентно } \left(\frac{N_{c,0,Ed}}{N_{c,0,Rd}} \right)^2 + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_m \cdot \frac{M_{z,Ed}}{f_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (2) \text{ эквивалентно } \left(\frac{N_{c,0,Ed}}{N_{c,0,Rd}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{M_{y,d,Ed}}{M_{y,d,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 .$$

Выражения (1) и (2) справедливы только для случаев, когда при поперечном изгибе элемента потери устойчивости плоской формы деформирования не произойдет (т.е. когда поперечное сечение элементов квадратное или круглое, или если величина приведенной гибкости при изгибе $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$). Если потеря устойчивости плоской формы деформирования может произойти, уравнения справедливы, когда элемент может быть подвержен изгибу только относительно оси Z.



2 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого сжатия и изгиба

б) когда $\lambda_{rel,y}$ и/или $\lambda_{rel,z} > 0,3$

При данном условии, из-за того, что напряжения от продольного изгиба, обусловленные действием осевого нагружения составляют значительную часть в общей величине суммарных напряжений от сжатия и изгиба. В этом случае предельная нагрузка достигается тогда, когда в материале суммарное напряжение в сечении элемента достигает величины прочности в крайнем волокне. Это соответствует упругой теории расчета (рис. 4а). В данном случае должны соблюдаться следующие условия:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (3) \quad \text{эквивалентно} \quad \frac{N_{c,0,Ed}}{k_{c,y} \cdot N_{c,0,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_m \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (4) \quad \text{эквивалентно} \quad \frac{N_{c,0,Ed}}{k_{c,z} \cdot N_{c,0,Rd}} + k_m \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.$$

В случае, когда сжатие происходит по направлению оси X, а изгиб только относительно оси Y, должно соблюдаться условие

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (5) \quad \text{эквивалентно} \quad \frac{N_{c,0,Ed}}{k_{c,z} \cdot N_{c,0,Rd}} + k_m \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1.$$



2 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого сжатия и изгиба

2) Устойчивость плоской формы деформирования элемента при его изгибе относительно оси Y не обеспечена, т.е. $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$.

Это условие относится к элементам, которые подвержены комбинации осевого сжатия и изгиба относительно оси Y , и когда может возникнуть потеря устойчивости плоской формы деформирования из-за изгиба элемента. В данном случае приведенная гибкость элемента при изгибе относительно оси Y $\lambda_{rel,m} > 0,75$.

В данном случае должно соблюдаться условие

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (6) \quad \text{эквивалентно} \quad \left(\frac{M_{Ed}}{k_{crit} \cdot M_{Rd}} \right)^2 + \frac{N_{c,0,Ed}}{k_{c,z} \cdot N_{c,0,Rd}} \leq 1.$$

где k_{crit} определяют по формуле (7)

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{при } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{при } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{при } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (7) \quad \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (8)$$



3 Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого растяжения и изгиба

Из-за того, что элементы при растяжении имеют хрупкий (упругий) характер разрушения, в СП 5.05.01 допускается, что максимальная нагрузка будет достигнута, когда величина напряжения в материале достигнет прочности в крайнем волокне. Такой подход согласуется с линейной теорией расчета (рис. 4а). Исходя из этого, при расчете элементов, подверженных совместному (комбинированному) изгибу и осевому растяжению, должны соблюдаться следующие условия:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (9) \quad \text{эквивалентно}$$

$$\frac{N_{t,0,Ed}}{N_{t,0,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + k_m \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (10) \quad \text{эквивалентно}$$

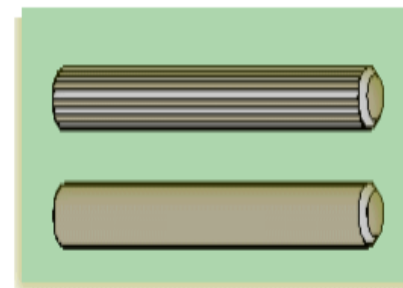
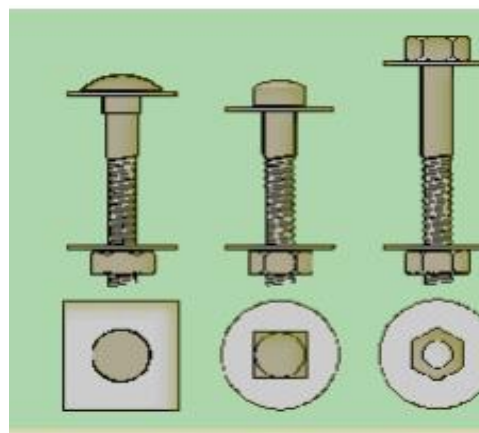
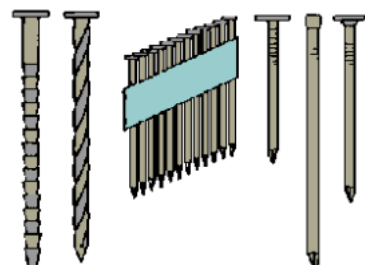
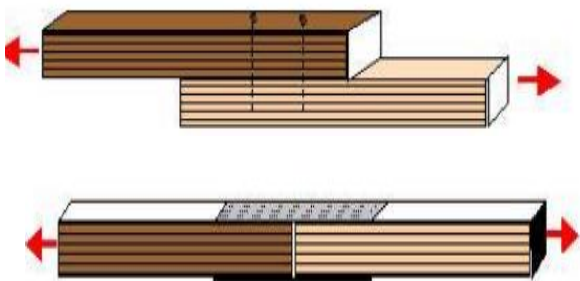
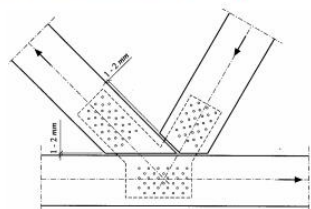
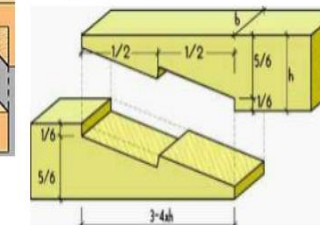
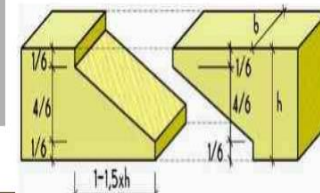
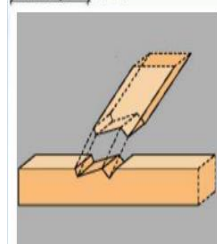
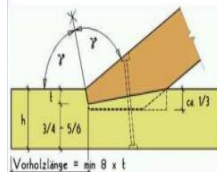
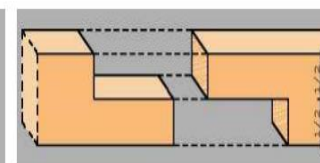
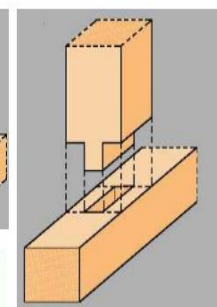
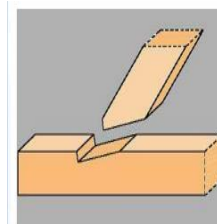
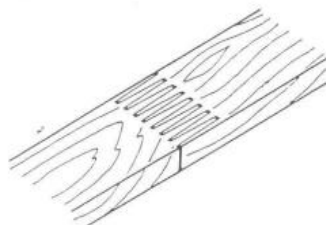
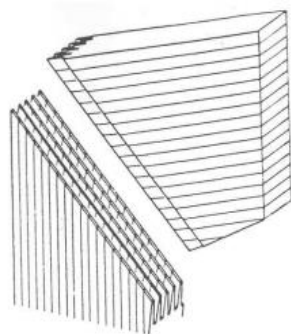
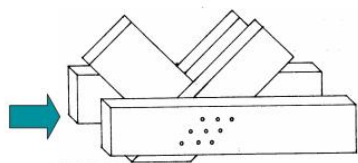
$$\frac{N_{t,0,Ed}}{N_{t,0,Rd}} + k_m \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1.$$

При проверке условий (9) и (10) предполагают, что при изгибе элемента относительно оси Y потери устойчивости плоской формы деформирования не произойдет. Если это не так, то для случаев, когда осевое растягивающее напряжение мало, элементы должны также проверяться на соответствие требованиям, предъявляемым к изгибаемым элементам с учетом обеспечения устойчивости плоской формы деформирования.

Лекция на тему «Соединение элементов деревянных конструкций»

1 Общие сведения

2 Классификация и расчет соединений



1 Общие сведения

Соединение — процесс изготовления конструкции из деталей, сборочных единиц (узлов), путём их физического объединения в одно целое. Показатели работоспособности **соединения** — несущая способность и жесткость (податливость).

Соединения элементов применяются с целью повышения несущей способности и жесткости составных конструкций, а так же для выполнения различных узловых и стыковых сопряжений элементов конструкций.

Элементы деревянных конструкций могут изготавливаться из бревен, пиломатериалов (досок, брусков, бруса), клееной древесины, клееного шпона (LVL), плитных материалов на основе древесины (фанеры, ОСП, ДСП и ЦСП).

Пиломатериалы характеризуются ограничениями размеров: по длине - 6,5 м; по поперечному сечению - 250x275 мм. Поэтому из пиломатериалов можно изготавливать как элементы, так и сами конструкции небольших размеров. Например, настилы (из досок), обрешетки (из брусков), прогоны (из досок, брусьев), балки (из брусьев). Данные виды конструкций, изготовленные из пиломатериалов, позволяют перекрывать помещения с небольшими пролетами (до 6 м). В то же время в современном строительстве применяются конструкции пролетом до 100 м и более, с высотой сплошного поперечного сечения 1500 ÷ 2000 мм. В связи с этим возникает необходимость соединения деревянных элементов между собой для увеличения их длины и размеров поперечного сечения.

Соединение деревянных элементов по длине называется **сращиванием (рис. 1).**

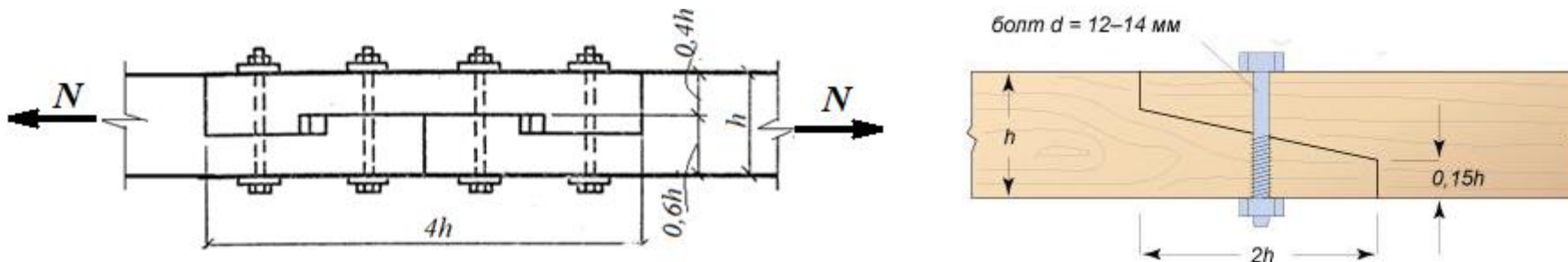


Рисунок 1 – Примеры сращивания элементов по длине

1 Общие сведения

Соединение деревянных элементов по увеличению поперечного сечения называется **сплачиванием** (рис. 2)

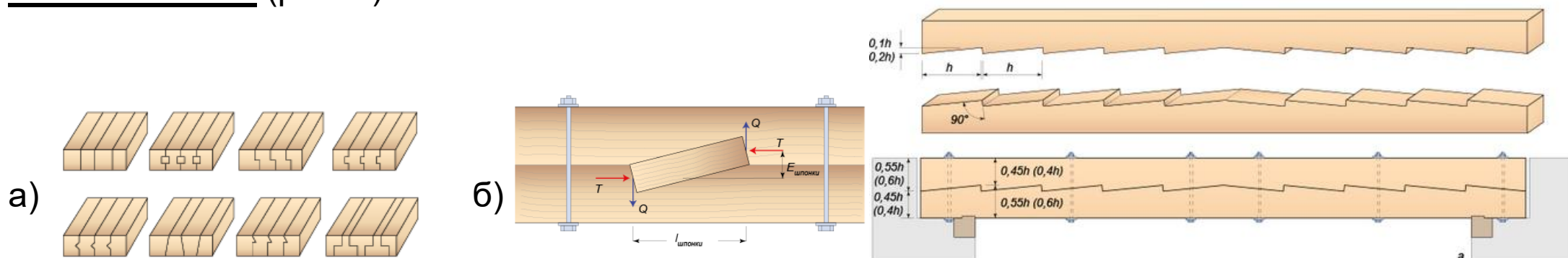


Рисунок 2 – Примеры сплачивания элементов

Соединение нескольких деревянных элементов между собой под разными углами называется **узловым сопряжением** (рис. 3).

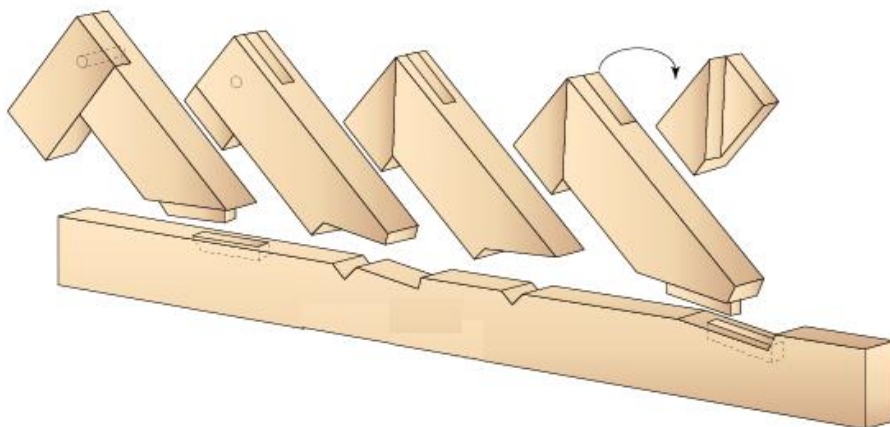


Рисунок 3 – Пример узловых сопряжений

1 Общие сведения

Требования к соединениям

Соединения должны обладать следующими качествами:

1. Достаточной несущей способностью при ограниченной податливости.

Податливость – отношение величины относительного смещение между элементами к нагрузке.

2. Надежностью – способностью выполнять свои функции при заданных условиях;

3. Долговечностью;

4. Экономичностью (затраты труда, материалоемкость, энергоемкость);

5. Должны соответствовать условиям эксплуатации (химическая стойкость, немагнитность, радиопрозрачность);

6. Местные деформации в соединении должны отсутствовать или быть минимальными.

Возможные деформации в соединениях:

- **рыхлые** – происходят до восприятия соединением полной нагрузки (обминка). Величина носит случайный характер. Значительная величина этих деформаций снижает качество конструкции (зона А, рис. 4):

- **укругие** – пропорциональны росту нагрузки (зона В, рис.4);

- **нелинейные** – растут под нагрузкой без её увеличения. Позволяют своевременно выявить дефекты конструкции и организовать ремонт. Нелинейные деформации отдельных соединений позволяют выровнять работу нескольких соединений, воспринимающих общее усилие. При отсутствии нелинейных деформаций происходит хрупкое разрушение (зона С, рис 4)

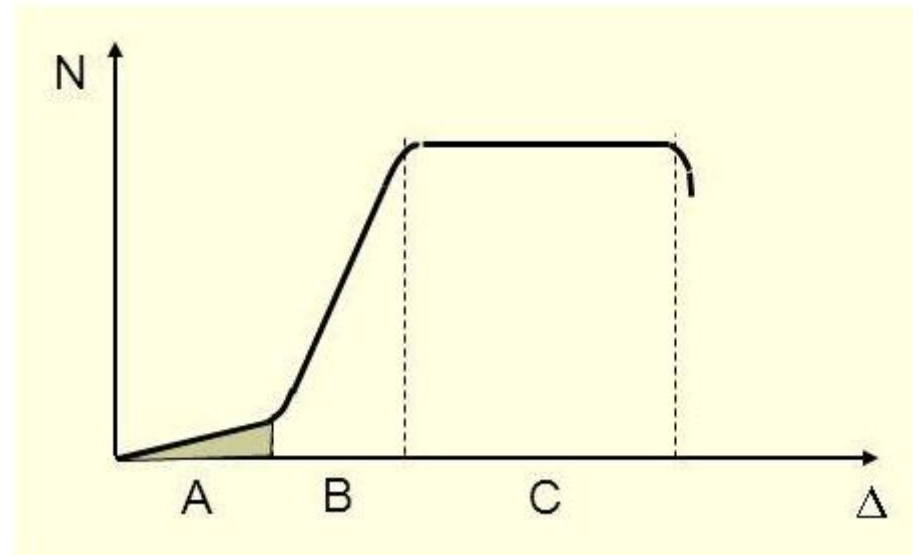


Рис. 4

2 Классификация и расчет соединений

По характеру работы соединения деревянных конструкций могут быть разделены на следующие группы:

- контактные соединения без специальных связей (лобовые упоры, врубки и другие соединения «впритык»);
- соединения на механических связях (нагельные соединения, соединения на вклеенных или ввинченных стержнях, зубчатых пластинах, кольцевых и зубчатых шпонках и др.);
- соединения на клею.

2.1 Контактные соединения.

К данному виду соединений относятся:

- лобовые упоры, которые бывают следующих видов: продольные (рис.5а); поперечные под углом 90^0 (рис. 5 б); наклонные (рис. 5в);

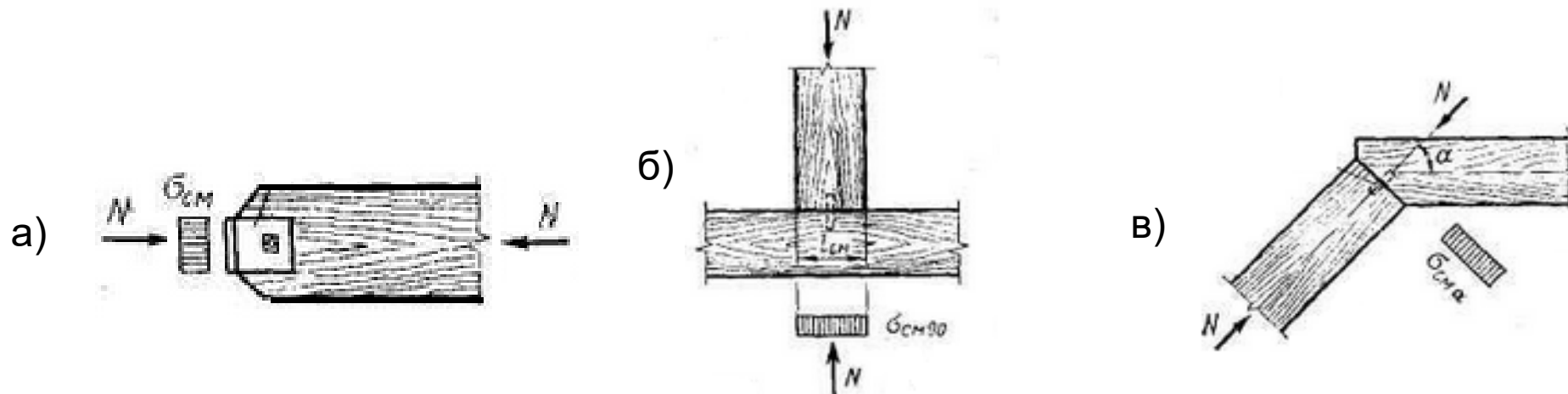


Рисунок 5 – Лобовые упоры

2 Классификация и расчет соединений

- конструктивные врубки применяются при соединении сжатых бревен или брусьев в головных соединениях при возведении срубов (рис. 6 и рис. 7);

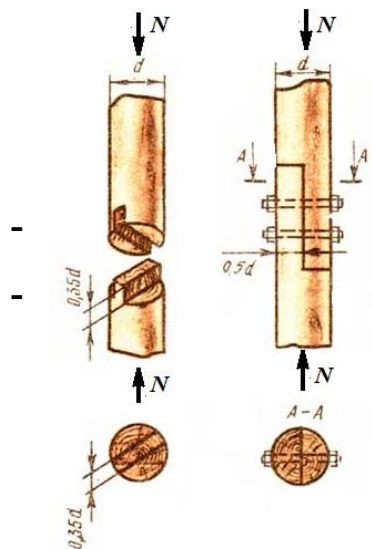


Рисунок 6 – Соединение элементов по длине

При возведении срубов применяются следующие виды угловых врубок:

- в «чашу» или «в обло»;
- в «лапу»;
- «сковородень»;
- канадская врубка;
- «ласточкин хвост» и др.

Различные виды врубок использовались при строительстве храмов, мостов, пирсов, крепостных стен и т.п. (рис. 8)

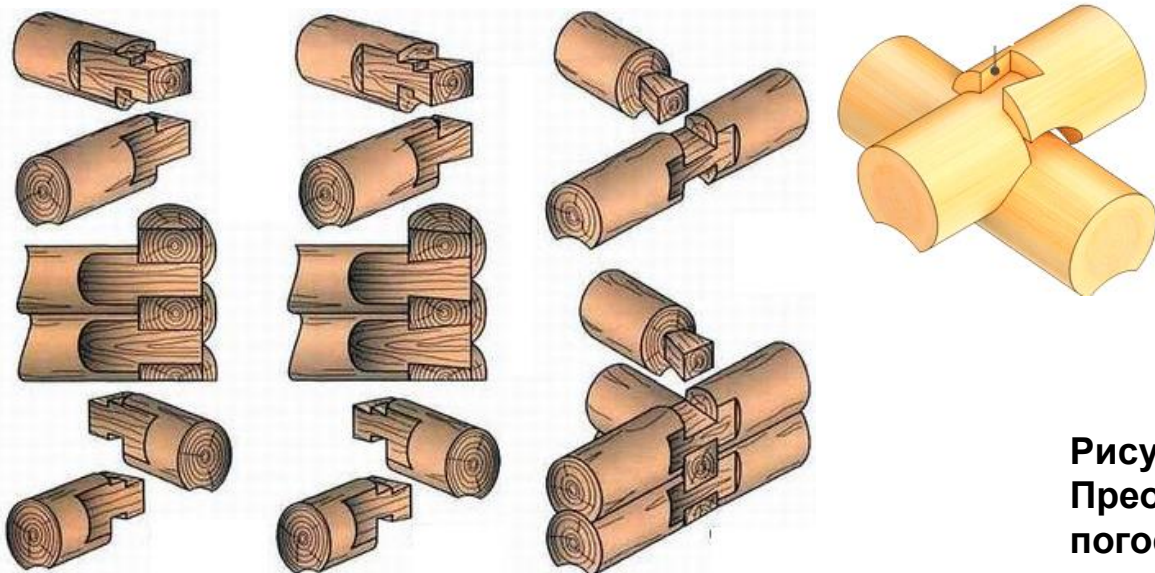


Рисунок 7 – Угловые соединения в срубах

Рисунок 8 - Церковь Преображения (1714) в Кижском погосте



2 Классификация и расчет соединений

- лобовые врубки применяются в узловых соединениях деревянных конструкций (рис. 9);

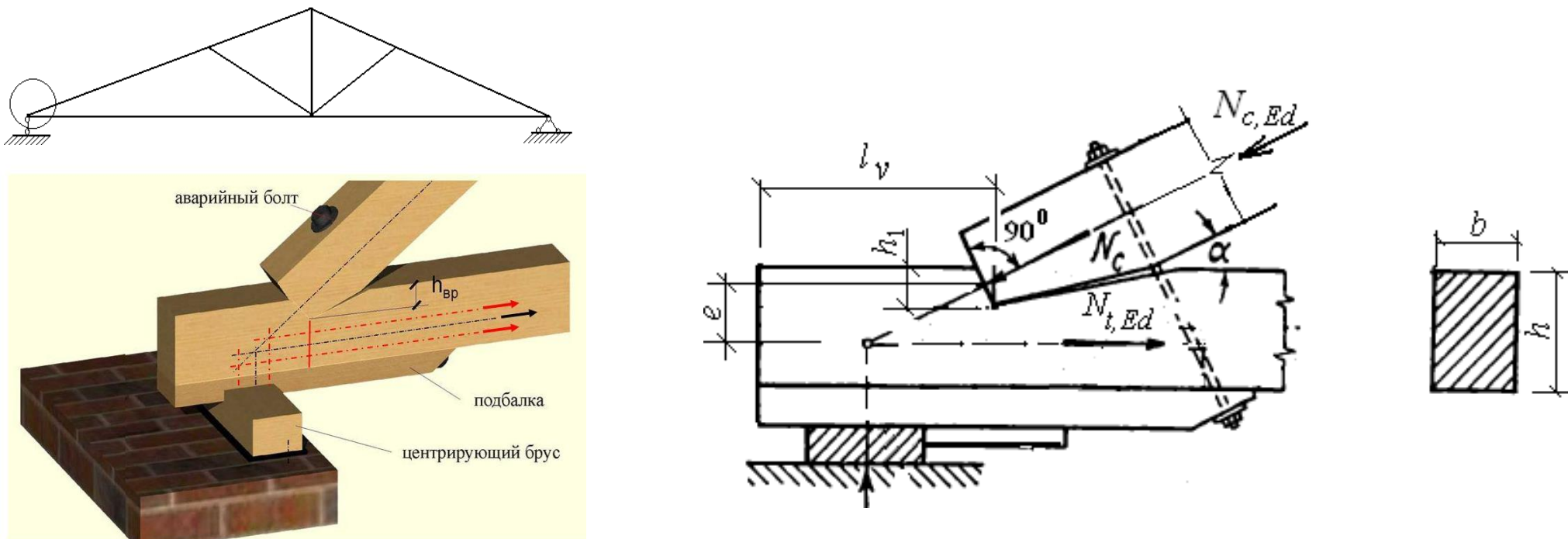


Рисунок 9 – Лобовая врубка

Узловые соединения элементов из брусьев или бревен на лобовых врубках следует выполнять с одним зубом (рис. 9).

Рабочая плоскость смятия во врубках при соединении элементов, не испытывающих поперечного изгиба, должна быть расположена перпендикулярно оси примыкающего сжатого элемента. Если примыкающий элемент помимо сжатия испытывает поперечный изгиб, рабочую плоскость сжатия во врубке следует располагать перпендикулярно равнодействующей осевой и поперечной сил. Угол примыкания между сжатым и растянутым элементами соединения не должен превышать 45° .

Элементы, соединяемые на лобовых врубках, должны быть стянуты болтом (рис. 9).



2 Классификация и расчет соединений

Лобовые врубки и их расчет

При проверке соединений элементов на лобовых врубках должно соблюдаться условие

$$N_{Ed} \leq N_{\min,Rd}, \quad (1)$$

где N_{Ed} – расчетное значение усилия, действующего в элементе соединения;

$N_{\min,Rd}$ расчетное значение несущей способности узлового соединения, принимаемое равным минимальному значению, определенному из трех условий:

- прочности древесины при сжатии под углом к направлению волокон по контактной площадке;
- прочности древесины при растяжении вдоль волокон в поперечном сечении растянутого элемента;
- прочности древесины при сдвиге по направлению волокон в поперечном сечении растянутого элемента.

$$N_{\min,Rd} = \min \begin{cases} N_{c,\alpha,Rd} \\ N_{t,Rd} \\ V_d \end{cases}, \quad (2)$$

где $N_{c,\alpha,Rd}$ – расчетное значение несущей способности упорной площадки растянутого элемента, определяемое из условия прочности древесины сжатию под углом к волокнам (рис. 9) по формуле (3);

$N_{t,Rd}$ – расчетное значение несущей способности растянутого элемента соединения в ослабленном врубкой поперечном сечении, определяемое из условия прочности древесины растяжению вдоль волокон по формуле (4);

V_d – расчетное значение несущей способности элемента соединения, определяемое из условия прочности древесины при скалывании вдоль волокон по формуле (5).



2 Классификация и расчет соединений

Лобовые врубки и их расчет

$$N_{c,\alpha,Rd} = \frac{f_{c,\alpha,d} \cdot b \cdot h_1}{\cos \alpha}, \quad (3)$$

где $f_{c,\alpha,d}$ – расчетное значение прочности древесины при сжатии (смятии) под углом;

b – ширина поперечного сечения растянутого элемента;

h_1 – глубина врубки.

Если в ослабленном сечении узла лобовой врубки растягивающее усилие $N_{t,d}$ приложено по его центру (рис. 9), то значение $N_{t,Rd}$ определяют по формуле (4).

$$N_{t,Rd} = f_{t,0,d} \cdot A_{net}, \quad (4)$$

где $f_{t,0,d}$ – расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон;

A_{net} – площадь нетто в ослабленном сечении, равная $A_{net} = b \cdot (h - h_1)$

h – высота поперечного сечения растянутого элемента,

h_1 – глубина врубки,

b – ширина поперечного сечения элемента.

В случае, когда растягивающее усилие приложено с эксцентриситетом по отношению к центру ослабленного сечения, расчетное значение несущей способности $N_{t,Rd}$ растянутого элемента определяют, как для случая внецентренного растяжения.



2 Классификация и расчет соединений

Лобовые врубки и их расчет

Расчетное значение несущей способности соединения от сдвига в поперечном сечении растянутого элемента узла, определяют по формуле (5).

$$V_d = \frac{f_{v,d}}{1 + k_{v1} \cdot \left(\frac{l_v}{e}\right)} \cdot b \cdot l_v, \quad (5)$$

где $f_{v,d}$ – расчетное значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон;

k_{v1} – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения напряжений сдвига по длине площадки скалывания в растянутом элементе, значение которого, принимают равным 0,25;

e – эксцентриситет, значение которого, принимают равным 0,5(h);

l_v – расчетная длина плоскости скалывания.

Длину плоскости l_v скалывания лобовых врубок следует принимать не менее 1,5h, где h – полная высота сечения скалываемого элемента и не более 10 h_1 .

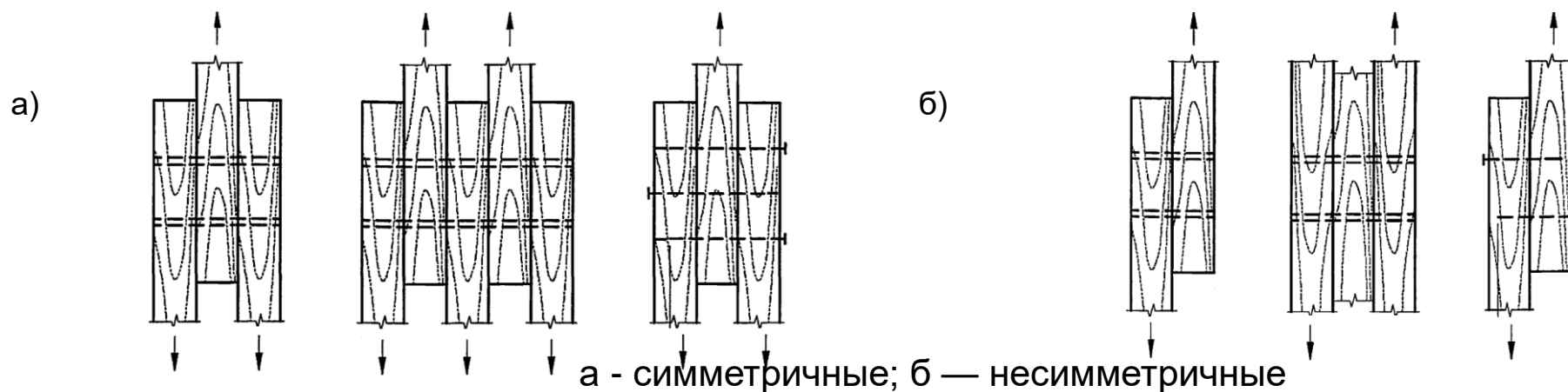
Глубину h_1 врубки в опорных узлах следует принимать не более 1/3 h, в промежуточных узлах сквозных конструкций - не более 1/4 h и в остальных случаях.

2 Классификация и расчет соединений

2.2 Соединения на механических связях

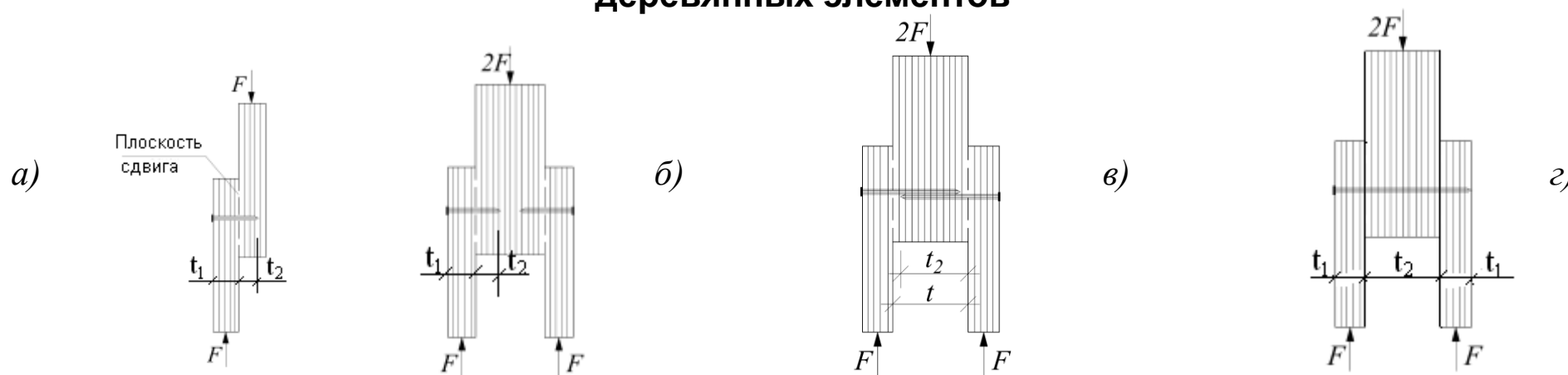
2.2.1 Нагельные соединения

К нагелям относят болты, гвозди, дюбеля, винты, шурупы, шпильки и т. п. в соединениях, работающих на сдвиг (рис. 10, рис. 11).



а - симметричные; б — несимметричные

Рисунок 10 – Схемы соединений по конструктивному сочетанию нагелей и соединяемых деревянных элементов



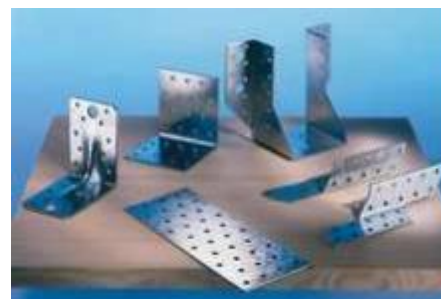
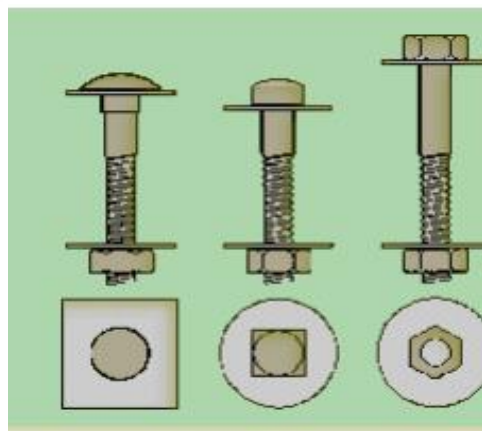
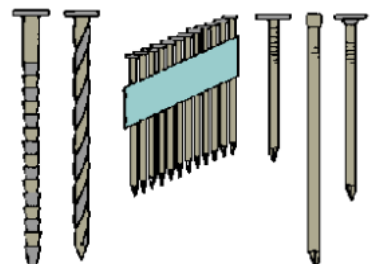
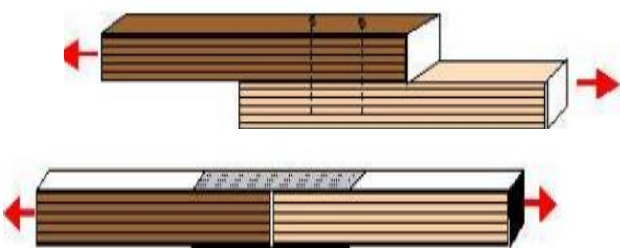
а), б) и в) – примеры соединений с одной плоскостью сдвига по отношению к нагелю;
г) – пример с двумя плоскостями сдвига по нагелю

Рисунок 11 – Схемы соединений элементов на нагелях по количеству плоскостей сдвига

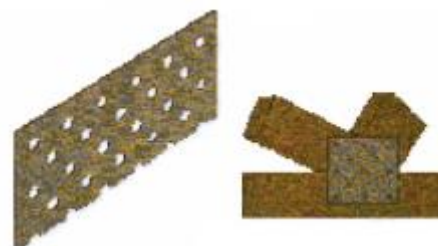


Продолжение лекции на тему: «Соединение элементов деревянных конструкций»

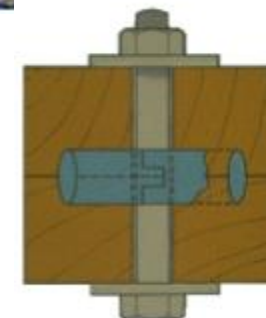
- 1 Нормативные документы в соответствии с которыми выполняют испытание соединений элементов деревянных конструкций на механических связях
- 2 Расчет и конструирование нагельных соединений
 - 2.1 Сдвиговая способность одиночного нагеля
 - 2.2 Сопротивление древесины при вдавливании нагеля плашмя
 - 2.3 Пластический момент в сечении нагеля
 - 2.4 Конструктивные требования по расположению нагелей в соединении элементов
 - 2.5 Несущая способность одного среза нагеля



МЗП



$d = 64 - 104 \text{ мм}$





1 Нормативные документы в соответствии с которыми выполняют испытания соединений элементов деревянных конструкций на механических связях

К механическим связям соединений относят: гвозди, скобы; перфорированные металлические пластины; болты, нагели; металлические зубчатые пластины (МЗП); зубчатые и кольцевые шпонки.

Проектирование на основе испытания соединений на механических связях:

СТБ EN 1075 Испытания соединений на перфорированных металлических пластинах;

СТБ EN 1380 Испытания соединений на гвоздях, винтах, нагелях и болтах;

EN 1381 Испытания соединений на скобах;

EN 26891 Определение плотности материала испытываемого образца;

EN 28970 Методика испытаний соединений.

Проектирование на основе расчета СП 5.05.01

Схема	Нормальное усилие		Поперечная сила	Момент

2 Расчет и конструирование нагельных соединений

Нагелем принято называть тонкие стержни или пластинки, которые соединяя элементы деревянных конструкций, препятствуют их взаимному сдвигу, а сами в основном работают на изгиб.

Соединения бывают симметричными и несимметричными (рис. 1).

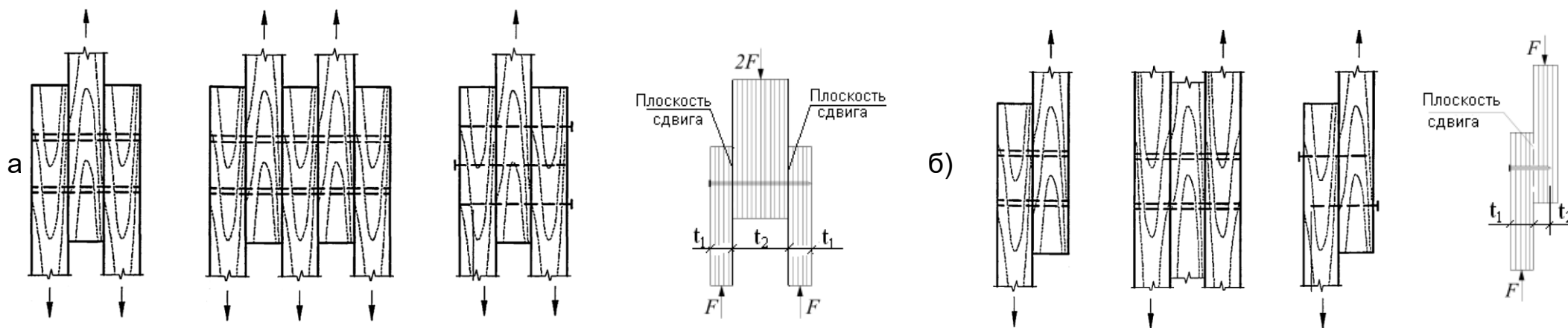


Рис. 1

Виды нагелей: в зависимости от формы - цилиндрические и пластинчатые; в зависимости от материала – деревянные, металлические и пластмассовые (рис. 2).

1 Цилиндрические нагели (шпильки, болты, винты, шурупы, глухари и гвозди).

2 Пластинчатые нагели (пластины с дюбелями или гвоздями, металлические субстратные пластины).

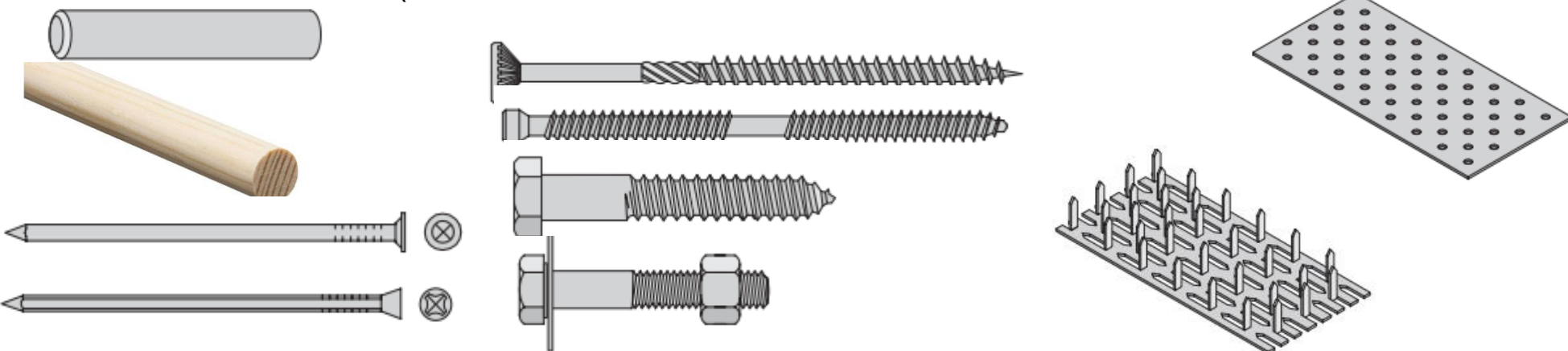


Рисунок 2 – Виды нагелей

2.1 Сдвиговая способность одиночного нагеля

Нагель устанавливается под углом к направлению действующего усилия, чаще всего перпендикулярно ему. При нагрузке нагель будет прижиматься к окружающей его древесине элемента, создавая давление на нагель (рис. 3).

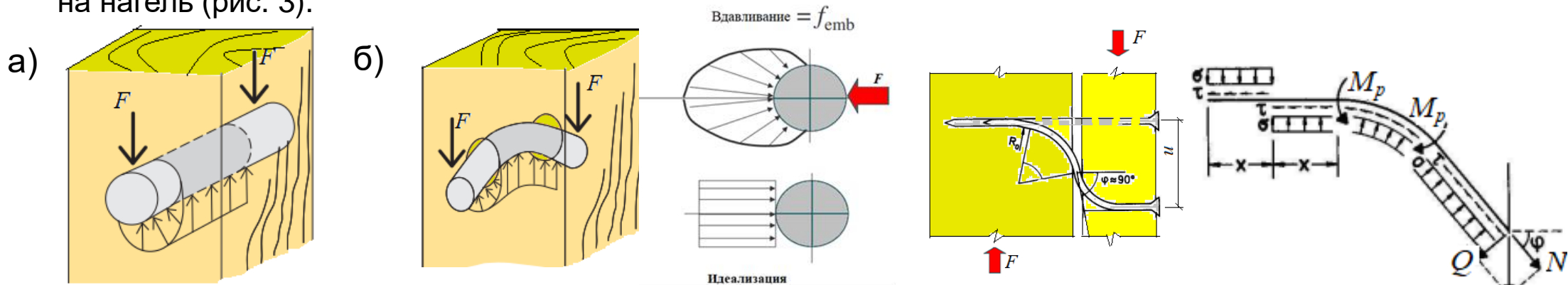


Рисунок 3 – Схема деформирования жесткого (а) и тонкого (б) нагеля

Нагель будет работать как балка, нагруженная распределенной нагрузкой от давления в заделке. Если нагель жесткий, он не согнется, но если он более тонкий, то - деформируется от изгиба и в конечном итоге образуется один или несколько пластических шарниров в сечении нагеля. После деформации нагеля сдвиговое усилие F может вызвать в нем дополнено растяжение. Возникающее в нагеле усилие растяжения зависит от вида нагеля (болт с головкой и/или гайкой, винт).

Несущая способность нагельного соединения при сдвиге определяется тремя параметрами: сопротивлением (прочностью) f_h древесины вдавливанию нагеля плашмя в отверстии, прочностью f_u материала нагеля, определяющей величину изгибающего момента M_y , вызывающего образование пластического шарнира в его поперечном сечении, и способностью сцепления контактных поверхностей нагеля и древесины обеспечивать его растяжение.

Сопротивление древесины f_h вдавливанию нагеля плашмя в отверстии (заделке) - это давление, которое может воспринять древесина при вдавливании нагеля плашмя. Значение f_h определяется с помощью испытаний, выполненных в соответствии с СТБ EN 383 (см. рис. 4 а), где жесткий нагель вдавливается плашмя в отверстие деревянного элемента.

2.2 Сопротивление древесины f_h при вдавливании нагеля плашмя

Сопротивление f_h древесины при вдавливании нагеля плашмя определяется как максимальное приложенное усилие, деленное на проекционную площадь нагеля, $A = d \times t$ и измеряется в МПа. Стандартная схема испытаний по определению f_h на рис. 4.

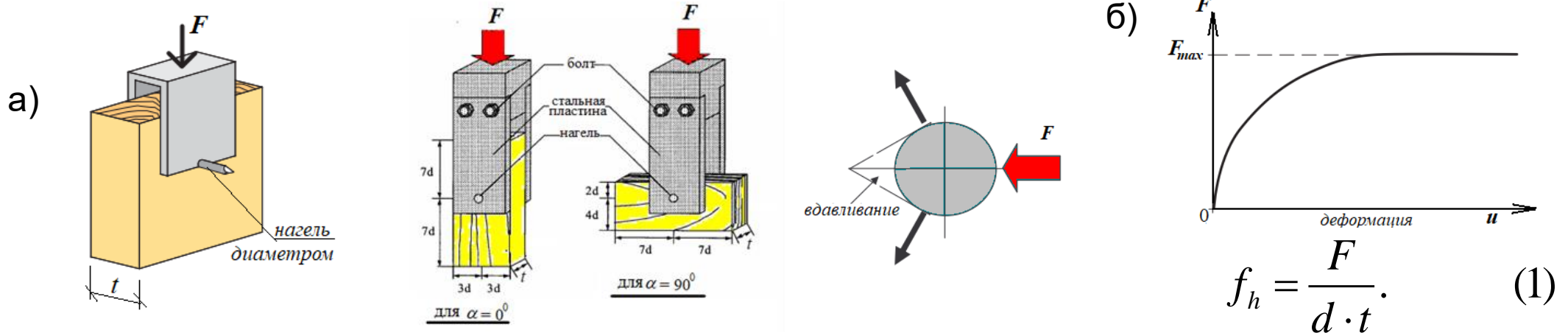


Рисунок 4 – Схема испытания по определению f_h (а) и диаграмма деформирования древесины в отверстии с одним нагелем (б)

Сопротивление f_h древесины при вдавливании нагеля плашмя зависит от:

- плотности древесины;
- диаметра крепежной детали (нагеля) d : при малых диаметрах прочность выше, чем при больших диаметрах. Отверстие может превышать диаметр крепежной детали на 2 мм без какого-либо влияния на прочность древесины в отверстии;
- угла α между волокнами и направлением нагрузки: наибольшая прочность характерна при сжатии вдоль волокон, а наименьшая - перпендикулярно волокнам;
- величины коэффициента трения между нагелем и древесиной: для нагелей с шероховатой поверхностью прочность f_h больше, чем для нагелей с гладкой поверхностью;
- влажности древесины;
- внутренних растягивающих усилий, направленных перпендикулярно волокнам древесины;
- способа установки нагеля (предварительно просверленные отверстия или нет, рис. 5).



2.2 Сопротивление древесины при вдавливании нагеля плашмя

Характеристические значения сопротивления древесины хвойных пород при вдавливании нагеля плашмя вдоль волокон определяют по эмпирическим формулам:

- без предварительного сверления отверстий, т.е. $d \leq 8$ мм
$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}, \quad (2)$$

- с предварительным сверлением отверстий, т.е. все диаметры
$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k, \quad (3)$$

где $f_{h,0,k}$ – характеристическое значение сопротивления древесины при вдавливании нагеля плашмя вдоль волокон, МПа ;

ρ_k – характеристическое значение плотности древесины, кг/м³;

d – диаметр нагеля, мм.

Для гвоздей сопротивление $f_{h,\alpha,k}$ древесины в заделке **не зависит от угла** между нагрузкой и направлением волокон.

Для болтов сопротивление $f_{h,\alpha,k}$ определяют по формуле

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{c,90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (4)$$

$$k_{c,90} = 1,35 + 0,015 \cdot d, \quad (5)$$

где $f_{h,0,k}$ – сопротивления определяют по формуле (3).



2.3 Пластический момент

Пластический момент – значение момента, при котором сечение переходит в состояние идеального пластического шарнира. Величина данного момента определяется с помощью испытания нагеля на изгиб в соответствии с СТБ EN 408 (рис. 5) или путем расчета пластического момента для нагелей больших диаметров.

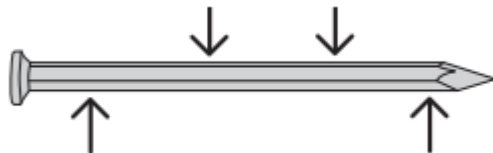


Рисунок 5 – Схема испытания гвоздя по определения пластического момента

Характеристическое значение пластического момента $M_{y,Rk}$ крепежного элемента (нагеля) зависит от его диаметра d и материала, характеризующегося предельной прочностью f_u стали в Н/мм². Для гвоздей и нагелей большого диаметра значения пластического момента могут быть определены по эмпирическим формулам, приведенным в таблице 2.

Таблица 2 – Формулы для расчета характеристического значения $M_{y,Rk}$ нагелей

Тип нагеля	Формула расчета $M_{y,Rk}$, Н·мм
Гвозди: - гладкие гвозди круглого поперечного сечения - квадратного поперечного сечения	$0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$, $0,45 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$,
Скобы	$240 \cdot d^{2,6}$,
Болты	$0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$,
Дюбели	$0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$,
Винты: винты с гладкой частью диаметром $d \leq 6$ мм винты с гладкой частью диаметром $d > 6$ мм	Как для дюбелей Как для болтов

Примечание – Здесь d – диаметр гвоздя, скобы или нагеля, мм. Для скоб с прямоугольным поперечным сечением, d - квадратный корень произведения размеров сторон поперечного сечения стержня, а для винтов d – внутренний диаметр резьбы; f_u – прочность материала проволоки гвоздя при растяжении (или материала винта) Н/мм²; $f_{u,k}$ – характеристическое значение прочности материала болта при его растяжении (или материала винта), Н/мм².

2.4 Конструктивные требования по расположению нагелей в соединении элементов

Для предотвращения раскалывания или скалывания древесины в нагельном соединении (рис. 6 и 7) необходимо соблюдать все требования по расстановке нагелей, касающиеся соблюдения минимальных расстояний от кромки и торца до оси нагеля, шага между рядами и в ряду нагелей (рис. 8). Минимальные расстояния для соединений с использованием гвоздей, скоб, нагелей и винтов приведены в таблицах 3 и 4.

Виды отказа (разрушения) соединения из нескольких крепежных элементов расположенных в ряд:

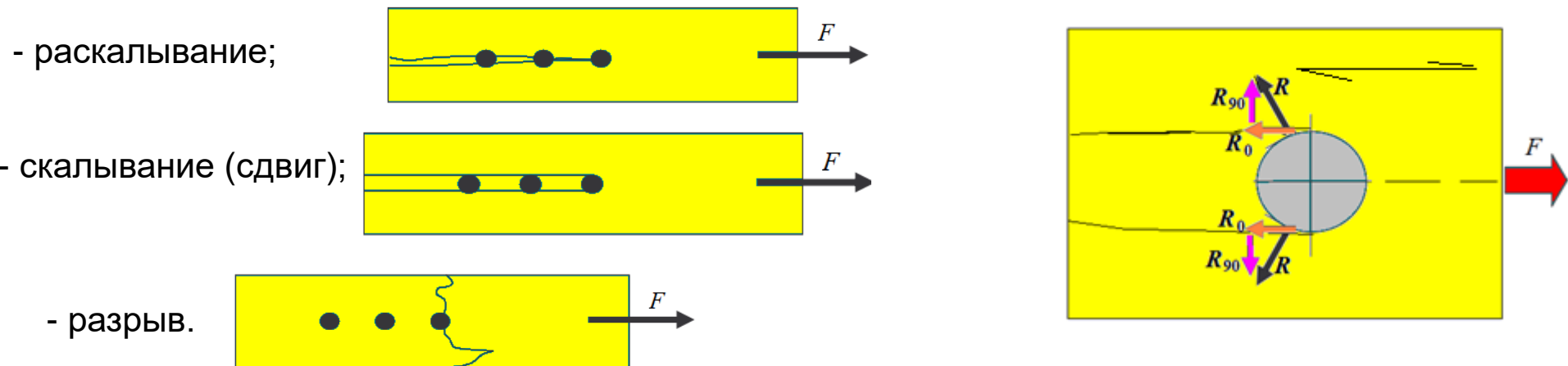


Рисунок 6 – Виды разрушения соединения из нескольких крепежных элементов расположенных в один ряд

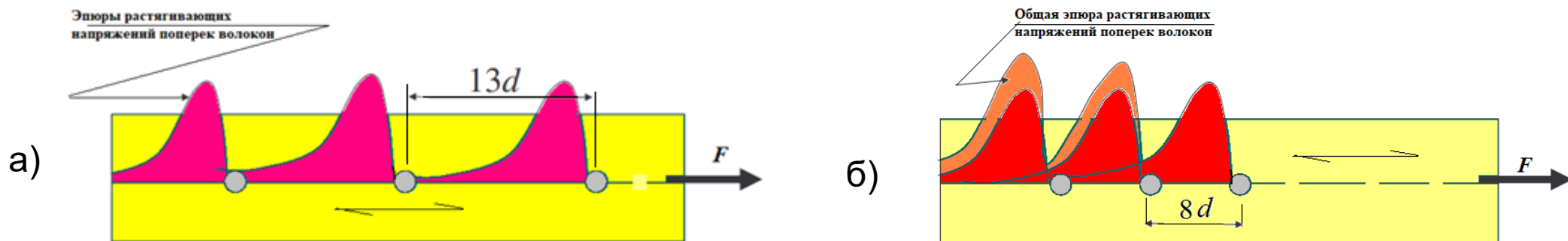


Рисунок 7 – Взаимное влияние расстановки нагелей в соединении на напряженное состояние элемента

2.4 Конструктивные требования по расположению нагелей в соединении элементов

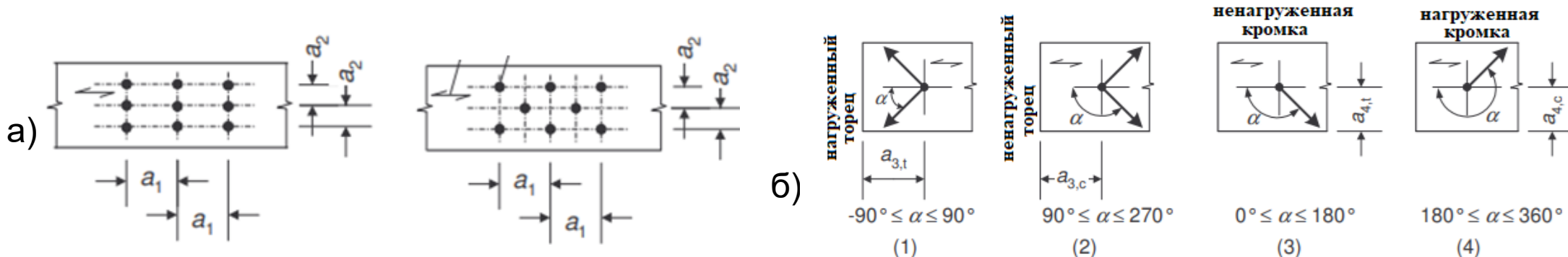


Рисунок 8 – Схемы расстановки нагелей

Таблица 3 – Минимальные расстояния между осями нагелей в элементе соединения из древесины или материала на ее основе

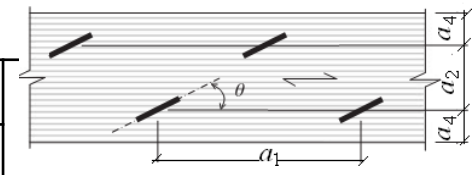
Схема расстановки согласно рисунку 8	Минимальное расстояние	
	Болты	Нагели
Шаг вдоль волокон – a_1 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha)d$	$(3 + 2 \cos \alpha)d$
Шаг поперек волокон – a_2 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$	$3d$
Расстояние до нагруженного торца $a_{3,t}$ $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ мм})$	$\max(7d; 80 \text{ мм})$
Расстояние до ненагруженного торца $a_{3,c}$ $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6\sin \alpha)d; 4d]$ $4d$ $\max[(1 + 6\sin \alpha)d; 4d]$	$\max[(a_{3,t} \sin \alpha)d; 3d]$ $3d$ $\max[(a_{3,t} \sin \alpha)d; 3d]$
Расстояние до нагруженной кромки $a_{4,t}$ $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2\sin \alpha)d; 3d]$	$\max[(2 + 2\sin \alpha)d; 3d]$
Расстояние до незагруженного конца $a_{4,c}$ $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	$3d$

* α – угол между направлением прикладываемого усилия к нагелю и волокнами.

2.4 Конструктивные требования по расположению нагелей в соединении элементов

Таблица 4 – Минимальные расстояния между осями гвоздей или скоб вдоль волокон, поперек волокон, от кромок и торца элемента для соединений элементов из древесины (см. рисунок 9)

Величина шага или расстояния и α^*	Для гвоздей согласно схемы рисунка 8.			Рисунок 9 - Схема для скоб
	Без предварительного сверления отверстий		С предварительно просверленными отверстиями $d > 6\text{ мм}$ и/или $\rho_k > 500 \text{ кг/м}^3$	
	$\rho_k \leq 420 \text{ кг/м}^3$	$420 \text{ кг/м}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ кг/м}^3$		
Шаг вдоль волокон – a_1 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ мм}; (5+5 \cos\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ мм}; (5+7 \cos\alpha)d$	$(7+8 \cos\alpha)d$	$(4+ \cos\alpha)d$	для $\theta \geq 30^\circ$; $(10+5 \cos\alpha)d$ для $\theta < 30^\circ$; $(15+5 \cos\alpha)d$
Шаг поперек волокон – a_2 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(4+ \sin\alpha)d$	$15d$
Расстояние до нагруженного торца $a_{3,t}$ $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5 \cos\alpha)d$	$(15+5 \cos\alpha)d$	$(7+5 \cos\alpha)d$	$(15+5 \cos\alpha)d$
Расстояние до ненагруженного торца $a_{3,c}$ $-90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$	$15d$
Расстояние до нагруженной кромки $a_{4,t}$ $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ мм}; (5+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ мм}; (5+5\sin\alpha)d$	$d < 5 \text{ мм}; (7+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ мм}; (7+5\sin\alpha)d$	$d < 5 \text{ мм}; (3+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ мм}; (3+4\sin\alpha)d$	$(15+5 \sin\alpha)d$
Расстояние до незагруженной кромки $a_{4,c}$ $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$	$10d$

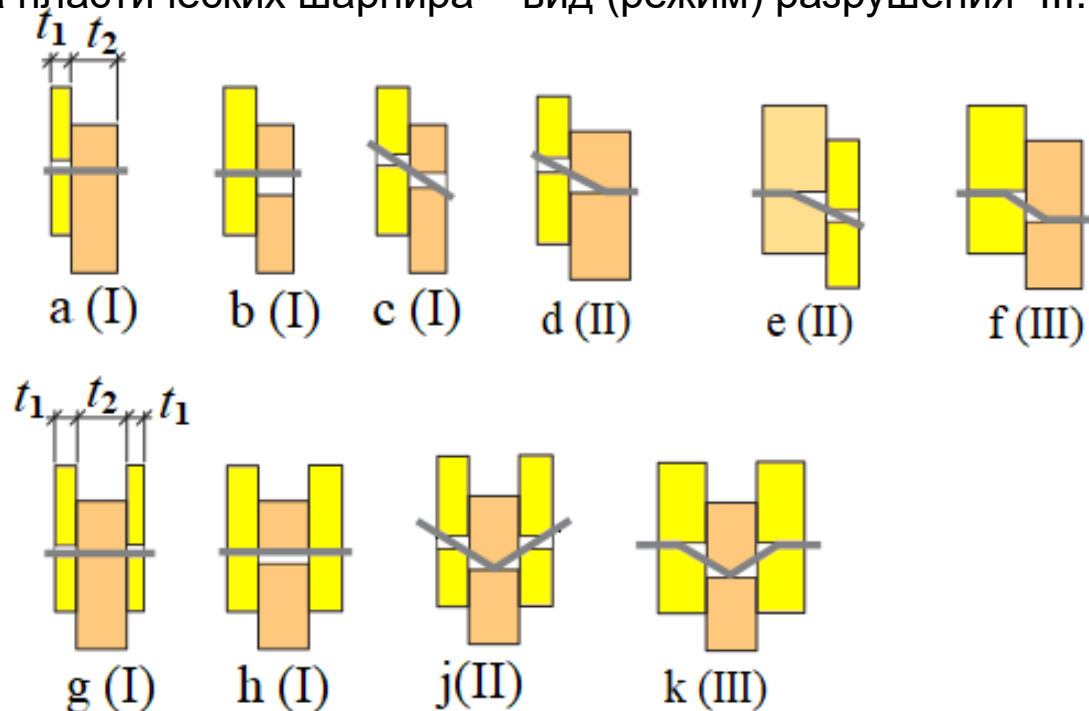


2.5 Несущая способность одного среза нагеля

2.5.1 Теория расчета нагельных соединений элементов из древесины

Вид разрушения (отказ) нагельного соединения зависит от величин отношения сопротивления древесины вдавливанию нагеля в отверстиях соединяемых элементов, величины момента текучести нагеля и отношения толщин деревянных элементов. Возможные виды (режимы) разрушения приведены на рис. 8. При расчете нагельных соединений толщину тонких элементов обозначают с индексом 1, а более толстых – 2, т.е. t_1 и t_2 . Если соединяемые элементы из древесины или материалов на ее основе отличаются по своим прочностным характеристикам или же расположены под углом друг α к другу, то в расчетных формулах используют их отношение, которое обозначают β , определяемое по формуле (6).

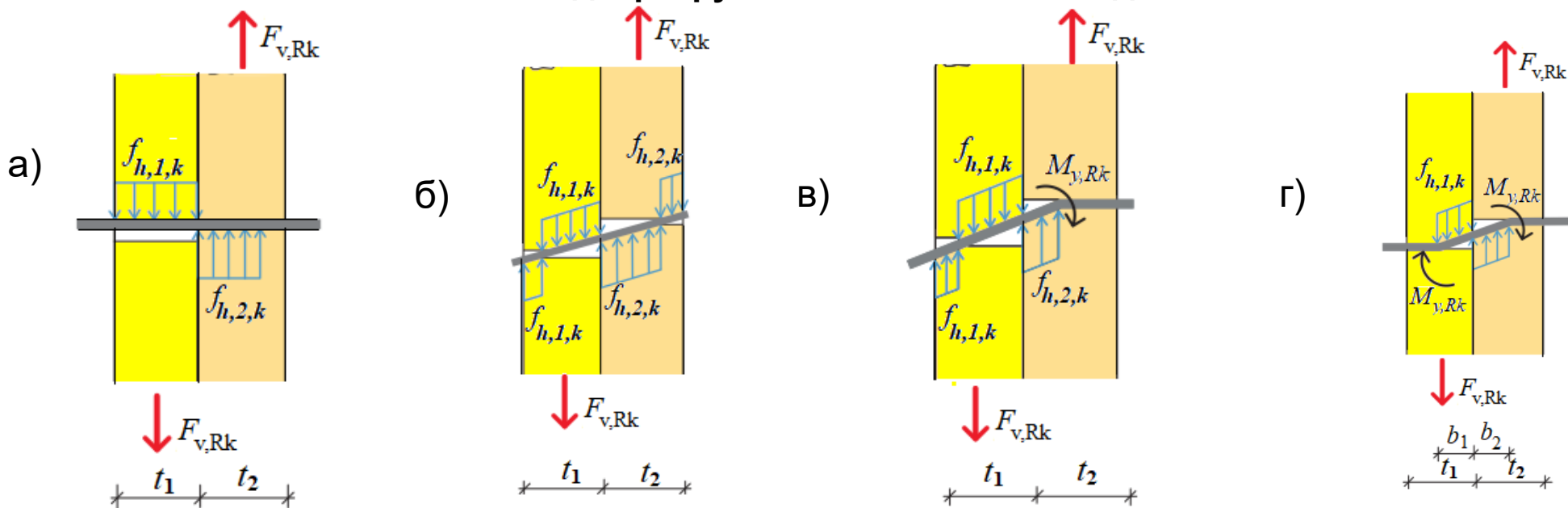
Если в нагеле соединения не образуются пластические шарниры, то такое соединение соответствует виду (режиму) разрушения I, вид (режим) разрушения II – когда в нагеле образуется один пластический шарнир, а если два пластических шарнира – вид (режим) разрушения III.



$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}. \quad (6)$$

Рисунок 8 – Возможные виды (режимы) разрушения нагельных соединений элементов из древесины или материалов на ее основе

2.5.2 Расчетные схемы и виды разрушения нагельного соединения



а) – вид разрушения I; б) – вид разрушения I (поворот нагеля); в) – вид разрушения II (образование в сечении нагеля одного пластического шарнира); г) – вид разрушения III (образование в нагеле двух пластических шарниров);

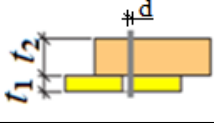


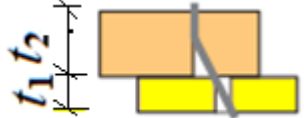
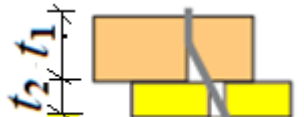
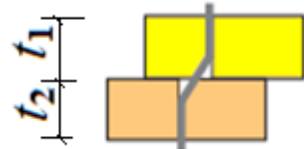
Рисунок 9 – Расчетные схемы нагельного соединения

Вид разрушения I (а) характерен для соединений, где в качестве нагелей используются болты, но очень редко встречается и в гвоздевых соединениях. Для вида разрушения I (б) нагель остается прямым. При таком виде разрушения расчет соединения выполняют на основе равновесия момента относительно линии сдвига. Если толщина одного из деревянных элементов достаточно велика, нагель будет изгибаться внутри деревянного элемента, образуя пластический шарнир, см. рис. 9 в (вид разрушения II). В этом случае расчет соединения выполняют исходя из условий, что в пластическом шарнире момент имеет свой максимум, а усилие сдвига равно нулю.

Когда нагель изгибается в обоих деревянных элементах (рис. 9 г), расчет выполняют из условия равновесие момента для наклонной части дюбеля, учитывая, что усилие сдвига в обоих пластических шарнирах нагеля равны нулю.

2.5.3 Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях элементов из древесины или материалов на ее основе по направлению волокон

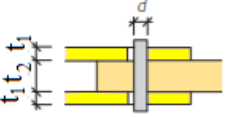

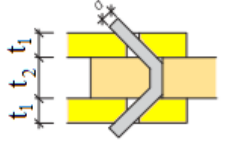
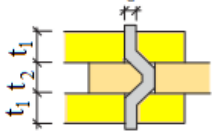
Таблица 5 - Характеристические значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ для соединений с одной плоскостью сдвига на один срез нагеля

Наименование характеристики	Формула	Схема
Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ для соединений с одной плоскостью сдвига (принимают минимальное значение)	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$	
	$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$	
	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	
	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	
	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	
$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$		

$F_{ax,k}$ – характеристическое значение несущей способности нагеля (гвоздя, винта, болта, дюбеля) при его выдергивании из древесины соединяемого элемента.

2.5.3 Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях элементов из древесины или материалов на ее основе по направлению волокон

Таблица 6 - Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ для соединений с двумя плоскостями сдвига на один срез

Наименование характеристики	Формула	Схема
Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ для соединений с двумя плоскостями сдвига (принимают минимальное значение)	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d;$	
	$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d;$	
	$F_{v,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4};$	
	$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}.$	

2.5.4 Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях стальной пластины с элементами из древесины или материалов на ее основе по направлению волокон

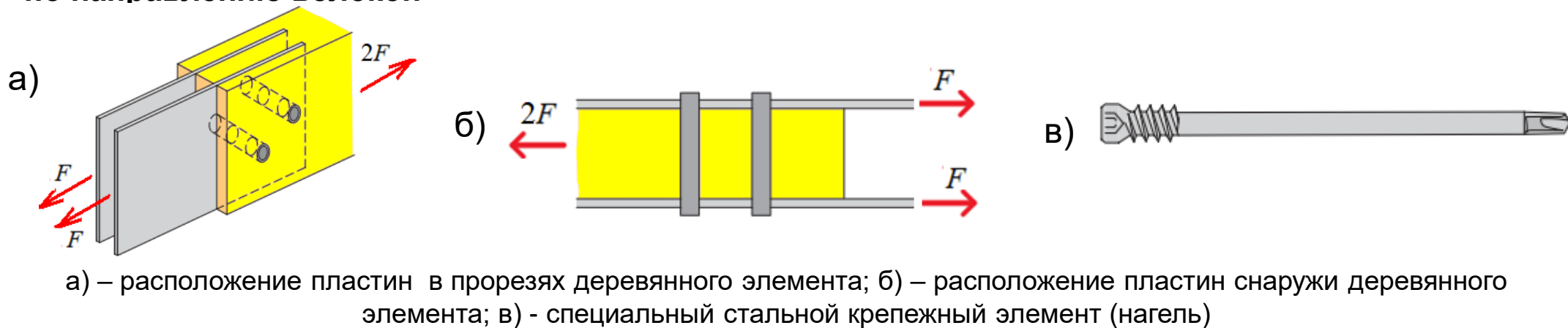


Рисунок 10 – Нагельное соединение элемента из древесины со стальными пластинами

Таблица 7 – Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальной пластины с элементом из древесины, где $t_{steel} \geq d$ (толстая стальная пластина)

Наименование характеристики	Формула	Схема
Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$, (принимают минимальное значение)	$F_{v,Rk} = f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d;$	
	$F_{v,Rk} = f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,k}}{4};$	
	$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4}.$	



2.5.4 Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях стальной пластины с элементами из древесины или материалов на ее основе по направлению волокон

Таблица 8 – Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальной пластины с элементом из древесины, где $t_{steel} \leq 0,5 d$ тонкая стальная пластина)

Наименование характеристики	Формула	Схема
Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ (принимают минимальное значение)	$F_{v,Rk} = 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d;$	
	$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4}.$	

Таблица 9 - Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальной пластины с отверстиями с элементом из древесины

Наименование характеристики	Формула	Схема
Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ (принимают минимальное значение)	$F_{v,Rk} = f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d;$	
	$F_{v,Rk} = f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,k}}{4};$	
	$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4}.$	



2.5.4 Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях стальной пластины с элементами из древесины или материалов на ее основе по направлению волокон

Таблица 10 – Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальных боковых пластин с элементом из древесины, где $t_{steel} \geq d$ (толстые стальные пластины)

Наименование характеристики	Формула	Схема
Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ (принимают минимальное значение)	$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d;$	
	$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4}.$	

Таблица 11 – Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальных боковых пластин с элементом из древесины, где $t_{steel} \leq 0,5 d$ (тонкие стальные пластины)

Наименование характеристики	Формула	Схема
Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля $F_{v,Rk}$ (принимают минимальное значение)	$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d;$	
	$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4}.$	



2.5.5 Характеристическое значение несущей способности одиночного нагеля (гвоздя, винта, болта, дюбеля) при его выдергивании из древесины соединяемого элемента – эффект нити

Во всех видах разрушения при сдвиге, когда нагель изгибается, в нем происходит уменьшение некоторой части усилия растяжения. В зависимости от поверхности нагеля и крепления его концов, часть, передаваемого элементу соединения растягивающего усилия, может быть больше или меньше. Поверхность нагеля может иметь более высокое сопротивление в анкеровке в результате:

- насечек на поверхности нагеля;
- наличия резьбы (винты или болты).

Крепление нагеля может быть улучшено за счет:

- шайбы у головки;
- шайбы и гайки на торцах.

Вклад натяжения в сдвиговую способность одного нагеля может быть значительным. Эффект растягивающего действия может быть определен либо по эмпирическим формулам, либо путем испытаний.

В СП 5.05.01 эффект нити учитывается введением дополнительного члена $F_{ax, Rk} / 4$ в формуле определения характеристического значения несущей способности нагеля на один срез. Вклад эффекта нити в величину сдвиговой способности ограничен заданными процентами (табл. 12).

Таблица 12 – Максимальный вклад эффекта нити по отношению к сдвиговой способности одного крепежного элемента типа нагеля

Тип соединителя	Процент, %
Круглые гвозди	15
Квадратные и рифленые гвозди	25
Другие гвозди	50
Винты	100
Болты	25
Дюбели	0



2.5.5.1 Определение характеристического значения несущей способности одиночного гвоздя при его выдергивании из древесины соединяемого элемента

Для гвоздей характеристическое значение несущей способности выдергиванию из древесины зависит от шероховатости поверхности вдоль гвоздя и способностью сопротивления древесины сжатию (смятию) под головкой гвоздя. Они могут быть охарактеризованы с помощью $f_{ax,k}$ и f_{head} соответственно, которые определяют с помощью испытаний в соответствии с СТБ EN 1382, СТБ EN 1383 и/или СТБ EN 14358. Если эти параметры не определены, то для гвоздей с гладкой поверхностью допускается использовать эмпирические выражения (7) и (8). Для других типов гвоздей данные характеристики определяют испытанием в соответствии с СТБ EN 14592.

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2, \quad (7) \quad f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2, \quad (8)$$

где $f_{ax,k}$ - характеристические значения сопротивления заземленной части гвоздя выдергиванию из древесины (длина заземленной части t_{pen} со стороны острия на должна быть меньше $12d$), МПа;

$f_{head,k}$ - характеристические значения сопротивления древесины сжатию под головкой гвоздя, МПа;

ρ_k – характеристическое значение плотности древесины, кг/м³.



Рис. - Общий вид разрушения древесины под головкой винта (гвоздя)

Характеристическое значение несущей способности $F_{ax,Rk}$ гвоздя на выдергивание из древесины, забитого перпендикулярно волокнам или под углом к волокнам определяют по формулам:

– для гвоздей с нарезкой, изготовленных по СТБ EN 14592

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{cases}, \quad (9) \quad \text{– для гладких гвоздей} \quad F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,y} \cdot d_h^2 \end{cases} \quad (10)$$

При определении характеристического значения $F_{ax,Rk}$ несущей способности гвоздя выдергиванию из древесины следует руководствоваться следующими правилами:

а) для гладких гвоздей, минимальная длина t_{pen} заземления со стороны острия гвоздя в древесине не должна быть меньше $8d$. При длине заземления гвоздя $8d$, значение $f_{ax,k}$ принимают равным нулю;



2.5.5.1 Определение характеристического значения несущей способности одиночного гвоздя при его выдергивании из древесины соединяемого элемента

Если длина заземленной части гвоздя со стороны острия меньше $12d$ но больше $8d$, то за значение $f_{ax,k}$ принимают значение, определенное по формулам (7), умноженное на $(t_{pen}/2d - 3)$;

б) для других типов гвоздей минимальная длина t_{pen} заземления гвоздя со стороны острия не должна быть меньше $6d$. При длине $t_{pen} = 6d$, $f_{ax,k} = 0$. В случаях, когда длине t_{pen} находится в интервале от $6d$ до $8d$, значение, определенное по формулам (8), умножают на $(t_{pen}/2d - 3)$.

2.5.5.2 Определение характеристического значения несущей способности одиночного болта при его выдергивании из древесины соединяемого элемента

Несущую способность болта в соединении элементов деревянных конструкций, воспринимающего усилие растяжения, определяют, как наименьшее из двух значений:

- несущей способности болта на разрыв;
- несущей способности шайбы или стальной пластины, используемой в качестве шайбы.

Несущую способность шайбы следует определять исходя из трехкратного характеристического значения прочности древесины при сжатии поперек волокон по формуле:

$$F_{ax,washer,Rk} = 3 f_{c,90,k} \cdot A_{washer}, \quad (9)$$

где $F_{ax,washer,Rk}$ – характеристическое значение несущей способности шайбы;

$f_{c,90,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при сжатии поперек волокон, МПа;

A_{washer} – площадь круглой шайбы, мм².

Если вместо круглых шайб используются стальные пластины толщиной t_{steel} , площадь шайбы определяют по формуле (10).

$$A_{washer} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (10)$$

где D – диаметр эквивалентной круглой шайбы, мм, определяемый по формуле (11).

$$D = \min \begin{cases} 12t_{steel} \\ 4d \end{cases}, \quad (11)$$

здесь t_{steel} – толщина стальной пластины, мм;
 d – диаметр болта, мм.

2.5.5.3 Определение характеристического значения несущей способности одиночного винта при его выдергивании из древесины соединяемого элемента

1 Для соединений элементов деревянных конструкций применяют винты как с полной, так и неполной резьбой в соответствии с СТБ EN 14592, наружным диаметром d резьбы от 6 мм до 12 мм и отношением внутреннего диаметра d_1 к наружному диаметру d резьбы от 0,6 до 0,75.

2 Длина нарезной части винта, завинченного в соединяемый элемент, должна быть не менее $6d$, а толщина элемента $t \geq 12d$.

Характеристическое значение несущей способности $F_{ax,Rk}$ винта при его выдергивании из древесины (LVL) под углом $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ к направлению волокон, удовлетворяющего требованиям 1, определяют по формуле

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}, \quad (12) \quad f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5} \cdot l_{ef}^{-0,1} \cdot \rho_k^{0,8}; \quad (13)$$

где $f_{ax,k}$ – характеристическое значение сопротивления винта выдергиванию из древесины (LVL), МПа, установленного перпендикулярно направлению волокон, определяемое по формуле (13);

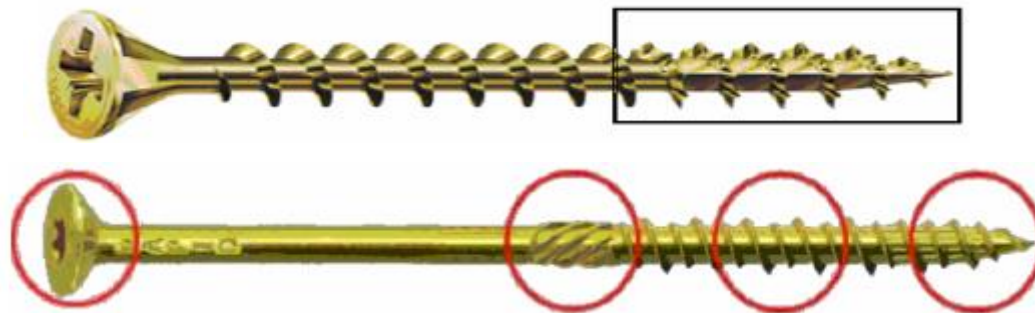
d – наружный диаметр резьбы винта, мм;

l_{ef} – расчетная длина винта, равная длине нарезной его части, завинченной в соединяемый элемент, уменьшенная на $1,8d$, мм;

α – угол между осью винта и направлением волокон древесины ;

k_d – коэффициент, числовое значение которого определяется по формуле (14)

$$k_d = \min \begin{cases} \frac{d}{8} \\ 1 \end{cases} \quad (14)$$





2.5.5.4 Определение расчетного значения несущей способности нагельного соединения

Расчетное значение несущей способности $F1_{v,Rd}$ для одного среза нагеля в соединении определяют по формуле (15)

$$F1_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M}, \quad (15)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации;

$F_{v,Rk}$ – характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля в соединении, принимаемое равным минимальному значению из всех рассчитанных величин;

γ_M – частный коэффициент свойств материалов и изделий.

Несущую способность $F_{v,Rd}$ однорядного соединения с одной плоскостью сдвига и расположением нагелей по направлению волокон определяют по формуле (16).

$$F_{v,ef,Rd} = F1_{v,Rd} \cdot n_{ef}, \quad (16)$$

где $F1_{v,Rd}$ – расчетное значение несущей способности для одного среза нагеля в ряду соединения;

n_{ef} – расчетное число нагелей в ряду, параллельном направлению волокон.

При определении расчетного n_{ef} количества нагелей в соединении следует учитывать вид используемых нагелей и направление действия усилия по отношению к волокнам древесины.

Данный вопрос выносится для самостоятельной проработки (см. СП 5.05.01 п.9.3.18 – 9.3.23).

2. Практический раздел

1 Основные положения расчёта ограждающих и несущих деревянных конструкций

1.1 Определение нагрузок

При расчёте ограждающих и несущих конструкций постоянные и переменные нагрузки определяются в соответствии с требованиями [1-6].

Характеристические значение постоянных нагрузок $g_{k,A}$, оказывающих воздействие на единицу A площади покрытия/перекрытия или $g_{k,l}$ на единицу длины l конструкции, определяются в зависимости от удельного γ_i веса, применяемых материалов и их объема в составе ограждающей или несущей конструкции.

Значения удельного веса γ_i принимают из таблиц в [3].

Характеристические значения переменных $q_{k,A}$ или $q_{k,l}$ нагрузок от действия снега, ветра, а также при производстве строительных работ (монтаже конструкций), приходящихся на единицу площади или длины конструкции, определяют в соответствии с [4], [5] и [6].

Расчётные значения нагрузок определяют по формулам [2]:

– для постоянных нагрузок

$$g_d = \gamma_G \cdot g_k; \quad (1.1)$$

– для переменных нагрузок

$$q_d = \gamma_Q \cdot q_k; \quad (1.2)$$

здесь g_d и q_d – расчетное значение постоянной и переменной нагрузки соответственно, приходящейся на единицу площади или длины, кН/мм² или кН/мм;

$\gamma_G = 1,35$ и $\gamma_Q = 1,50$ – частные коэффициенты для постоянных и переменных нагрузок соответственно, учитывающие возможность неблагоприятных отклонений от характеристических значений;

g_k и q_k – характеристическое значение постоянной и переменной нагрузки соответственно, приходящейся на единицу площади или длины, кН/мм² или кН/мм.

При расчете деревянных конструкций предельные состояния несущей способности и эксплуатационной пригодности проверяют в соответствие с требованиями [2] и правилами [1], используя метод частных коэффициентов.

Целью данных проверок является, чтобы во всех соответствующих расчетных ситуациях ни одно из значимых предельных состояний не будет превышено, т.е.

– для предельных состояний несущей способности

$$E_{d,USL} \leq R_d, \quad (1.3)$$

– для предельных состояний эксплуатационной пригодности

$$u_{E,d} \leq u_{c,d}, \quad (1.4)$$

здесь $E_{d,USL}$ – расчетное значение эффекта воздействий (усилия, момента);

R_d – расчетное значение сопротивления сечения, опорной площадки/несущей способности соединения, конструкции;

$u_{E,d}$ – расчетное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции;

$u_{c,d}$ – предельное значение прогиба для проверяемого элемента или конструкции, установленное в [1] или [2].

При выполнении проверок предельных состояний деревянных конструкций и их элементов в соответствующих расчетных ситуациях отдельные нагрузки объединяют в сочетания по правилам, установленным в [2], определяя таким образом значения эффектов воздействий – внутренних усилий в элементах конструкции, используя следующие формулы:

– для проверок предельных состояний несущей способности

$$E_{d,USL} = \begin{cases} k_{FI} \cdot \left(\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q1} \Psi_{0,1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \right), & (1.5) \\ k_{FI} \cdot \left(\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \right), & (1.6) \end{cases}$$

– для проверок предельных состояний эксплуатационной пригодности

$$E_{d,inst,SLS} = k_{FI} \cdot \left(\sum G_{k,j} + Q_{k1} + \sum \Psi_{0i} Q_{k,i} \right), \quad (1.7)$$

$$E_{d,creep,SLS} = k_{FI} \cdot \left(\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{2i} Q_{k,i} \right), \quad (1.8)$$

здесь k_{FI} – коэффициент последствий, значение которого принимают в соответствии с требованиями [2];

$\gamma_{G,j}$ – частный коэффициент для постоянного j -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [2];

$\gamma_{Q,i}$ – частный коэффициент для переменного i -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [2];

Ψ_0 – коэффициент преобразования переменных воздействий в комбинационное значение; принимают по таблице 5.3 в [1];

$\Psi_{2,i}$ – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение переменного воздействия; принимают по таблице 5.3 в [1];

ξ – коэффициент уменьшения неблагоприятных постоянных воздействий; определяют в соответствии с требованиями [2];

$G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного j -го воздействия; определяют в соответствии с требованиями [3];

Q_{k1} – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия; определяют в соответствии с требованиями [4], [5], [6].

Примечание: 1 – при учете сочетаний, включающих постоянные и не менее двух переменных нагрузок, расчетные значения переменных нагрузок или соответствующих им усилий (эффектов воздействий) определяются из выражений (1.5) и (1.6), т.е. умножаются на коэффициенты сочетаний, установленные в [2].

2 – при учете основных сочетаний, включающих постоянные нагрузки и одну переменную нагрузку (длительную, среднесрочную или кратковременную), коэффициенты ψ_1 , ψ_2 в выражениях (1.5) и (1.6), принимают равными единице.

В соответствии с требованиями [2]:

– для класса последствий СС1, значение $k_{F1} = 0,9$;

– для класса последствий СС2, значение $k_{F1} = 1,0$;

– для класса последствий СС3, значение $k_{F1} = 1,1$.

При проверке предельных состояний эксплуатационной пригодности необходимо определять полный прогиб в соответствии с (5.21) [1].

$$u_{E,d} = u_{fin} = u_{inst} + u_{creep} \quad , \quad (1.9)$$

где $u_{E,d}$ – расчетное значение прогиба;

u_{inst} – начальный прогиб от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания;

u_{creep} – значение прогиба от ползучести древесины при длительном действии нагрузок для практически постоянного воздействия.

Характеристические значения f_k прочности, а также среднее значение модуля E_{mean} упругости древесины или материалов на ее основе, принимают из таблиц Б.1, Б.2 и Б.3 приложения Б [7] или раздела 6 в [1].

1.2 Определение прочностных и упругих характеристик древесины и древесных материалов.

Расчетные значения прочности древесины и материалов на ее основе определяют по формуле (5.28) в [1].

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} \cdot k_{mod} \quad , \quad (1.10)$$

где f_d – расчетное значение прочности древесины или материала на ее основе для рассматриваемого вида напряженного состояния;

f_k – характеристическое значение прочности древесины или материала на ее основе для рассматриваемого вида напряженного состояния; принимают из таблиц Б.1 – Б.3 приложения Б [7] или раздела 6 [1];

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделия; принимают по таблице 5.6 [1];

k_{mod} – коэффициент модификации (приведения), учитывающий изменение прочности древесины или материала на ее основе в зависимости от продолжительности действия нагрузки и условий эксплуатации; принимают по таблице 5.4 [1].

Для элементов конструкций расчетные значения прочности их материалов должны определяться с учетом правил, установленных в п. 6.3 [1]. Для определенных видов напряженного состояния согласно правилам [1] расчетные значения прочности материалов в элементе конструкции рассчитываются с учетом коэффициентов k_h и k_l , определяемых по формулам (5.33) – (5.36) [1].

2 Ограждающие конструкции покрытий

Ограждающие конструкции покрытий строительных сооружений с использованием древесины и материалов на ее основе могут быть запроектированы в виде настилов, обрешетки (конструкции построечного изготовления), дощатых щитов и плит (конструкции заводского изготовления). По конструктивному решению ограждающие конструкции бывают как утепленные (для отапливаемых помещений), так и неутепленные (для неотапливаемых помещений).

2.1 Конструирование и расчёт настилов

Настилы применяются в покрытиях в качестве основания кровель. Они могут быть продольно-наклонными (расположенными перпендикулярно коньку крыши), поперечно наклонными (расположенными параллельно коньку крыши) или же перекрестными двухслойными из досок, в которых элементы слоев (доски) располагаются под углом α к продольной оси стропильной конструкции.

В зависимости от используемых материалов настилы бывают следующих типов: сплошные (из досок, ДСП, ОСП, ЦСП, листов фанеры) и разреженные.

Настилы вместе с прогонами являются несущими конструкциями кровли. Соединение настилов с прогонами или стропильными конструкциями осуществляют с использованием механических связей (гвоздей, винтов, скоб).

Сплошные настилы применяются в качестве основания под кровли из рулонных или мастичных материалов.

Для отапливаемых зданий с утепленными кровлями применяют однослойные настилы из досок шириной 100÷150 мм или плитных материалов на основе древесины. Доски сплошных настилов соединяются по ширине впритык или в четверть. Толщину досок определяют расчётом.

В двухслойных дощатых настилах доля неутепленных кровель верхний защитный слой выполняют из досок толщиной 16÷22 мм и шириной 100÷125 мм, который укладывают под углом $\alpha = 30^\circ \div 45^\circ$ в плоскости настила к продольному направлению нижнего слоя.

Нижний рабочий слой настила выполняют из досок толщиной 19÷32 мм (по расчёту) и шириной 100÷150 мм, которые для лучшего проветривания укладываются с зазором по ширине 20÷150 мм. Оба слоя соединяются гвоздями между собой и со стропильными конструкциям или прогонами.

Пролёт дощатых настилов не должен превышать 1,5 м, а толщина досок не более 32 мм. Доски должны иметь длину, достаточную для перекрытия не менее двух пролётов.

Однослойный настил и рабочий слой двухслойного настила рассчитываются по схеме двухпролетной неразрезной балки с пролётами l_d , равными шагу прогонов или стропильных конструкций, на которые опирается настил (рисунок 2.1).

Проверку предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности настилов, работающих на изгиб, выполняют для следующих комбинаций нагружения:

а) постоянная g и переменная среднесрочная q нагрузка от снега, которые равномерно распределены по всему пролету (рисунок 2.1, а);

б) постоянная g равномерно распределенная по всему пролету и кратковременная (монтажная) сосредоточенная $F_k = 1$ кН нагрузка, приложенная в пролёте настила на расстоянии $0,432 l_d$ от опоры (рисунок 2.1, б).

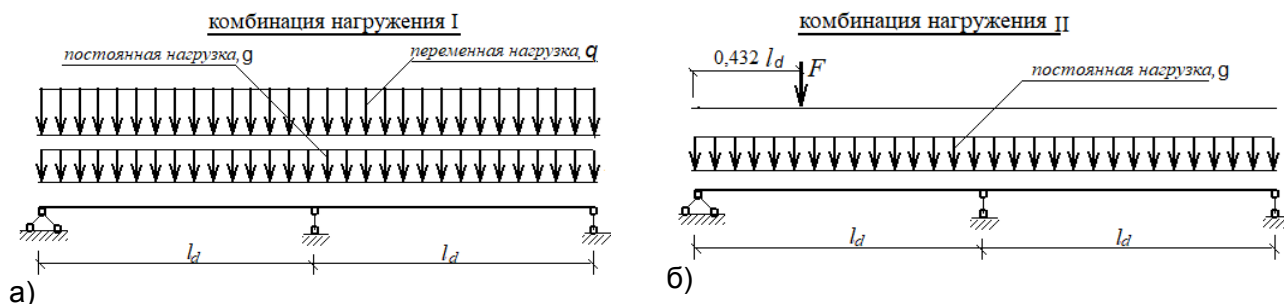


Рисунок 2.1 – Схемы нагружения настила

а) – комбинация нагрузок I (постоянная g + переменная q нагрузки); б) – комбинация нагрузок II (постоянная g + переменная сосредоточенная F нагрузка)

В двухслойном настиле сосредоточенную F нагрузку следует распределять на ширину $b_d = 500$ мм рабочего слоя (рисунок 2.2, а). В однослойном сплошном настиле сосредоточенную F нагрузку распределяют на две доски, если S расстояние между их осями не более 150 мм (рисунок 2.2, б), а при расстоянии S более 150 мм – на одну доску (рисунок 2.2, в).

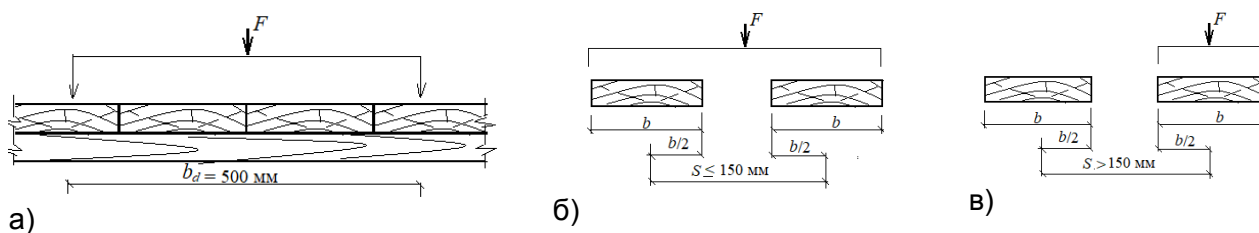


Рисунок 2.2 – Схемы распределения сосредоточенной нагрузки

Расчётные значения изгибающих моментов для комбинации нагружения I (рисунок 2.1, а) следует определить:

$$M_{E,dl} = k_{F1} \cdot (g_{d,l} + q_{d,l}) \cdot \frac{l_d^2}{8}, \quad (2.1)$$

где $M_{E,dl}$ – расчетное значение изгибающего момента при комбинации нагружения I, кН·мм;

$g_{d,l}$ – расчетное значение равномерно-распределенной постоянной нагрузки, кН/мм;

$q_{d,l}$ – расчетное значение равномерно-распределенной переменной нагрузки, кН/мм;

k_{F1} – коэффициент последствий, зависящий от класса последствий, значение которого принимают в соответствии с требованиями [1] или п. 1.1.7;

l_d – расчетное значение пролета, мм.

Расчётное значение изгибающего момента в сечениях настила для комбинации нагружения II (постоянная g + сосредоточенная F нагрузка, рисунок 2.1, б) следует определять:

$$M_{E,dII} = k_{FI} \cdot (0,07 \cdot g_{d,I} \cdot l_d^2 + 0,207 \cdot F_d \cdot l_d); \quad (2.2)$$

где $M_{E,dII}$ – расчётное значение изгибающего момента в сечении настила при комбинации нагружения II для основного сочетания 1;

F_d – расчетное значение кратковременной (монтажной) сосредоточенной нагрузки, кН.

Расчетные значения сопротивлений поперечного сечения настила изгибу определяют для каждой комбинации нагружения, используя формулы (7.22) [1], т. е.

$$M_{R,dI} = f_{m,dI} \cdot W_d, \quad (2.3)$$

$$M_{R,dII} = f_{m,dII} \cdot W_d, \quad (2.4)$$

где $f_{m,dI}$ – расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения I, определяемое по формуле (7.24) [1];

$f_{m,dII}$ – расчетное значение прочности древесины при изгибе для комбинации нагружения II, определяемое по формуле (7.24) [1];

W_d – расчетное значение момента сопротивления поперечного сечения настила.

Проверку предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS) настила выполняют для комбинации нагружения I (постоянная + снеговая нагрузка). Ввиду кратковременного воздействия монтажной нагрузки, для комбинации нагружения II (постоянная нагрузка + сосредоточенная нагрузка) проверку не производят.

При проверке предельного состояния эксплуатационной пригодности настила в соответствии с п. 8.1.1 [1] должно выполняться условие

$$u_{E,dI} \leq u_{C,d}, \quad (2.5)$$

где $u_{E,dI}$ – расчетное значение прогиба настила в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности, определяемое как суммарное значение начального прогиба u_{inst} от кратковременного приложения нагрузок и прогиба u_{creep} , вызванного ползучестью древесины при длительном приложении нагрузок;

$u_{C,d}$ – предельно допустимое значение прогиба, $(1/150)l_d$, где l_d – расчетная длина пролета.

Начальное значение u_{inst} прогиба от кратковременного приложения нагрузок для их характеристического сочетания в соответствии с (5.17) [1] определяют по формуле

$$u_{inst,dl} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{(g_k + q_k) \cdot l_d^2}{E_{0,mean} \cdot I_d}, \quad (2.6)$$

где $E_{0,mean}$ – среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон, принимаемое для пиломатериалов, фанеры, ДСП, ОСП и ЦСП из таблиц 6.2, 6.5, 6.8, 6.10 и 6.11 в [1] соответственно или таблиц приложения Б [7];

I_d – расчетное значение момента инерции поперечного сечения настила.

Значение прогиба элемента конструкции от ползучести древесины или материалов на ее основе при длительном действии нагрузок определяют в соответствии с требованиями п. 5.4.7 в [1] по формуле

$$u_{creep} = k_{def} \cdot u_{inst,dl}, \quad (2.7)$$

где k_{def} – коэффициент ползучести, значение которого принимают по таблице 5.5 [1];

$u_{inst,dl}$ – значение начального прогиба от практически постоянного сочетания нагрузок, определяемого по формуле (5.19) в [1].

2.1.15 Окончательное значение прогиба настила определяют по формуле

$$u_{E,d} = u_{fin,dl} = u_{inst,dl} + u_{creep}, \quad (2.8)$$

2.2 Конструирование и расчёт обрешетки

Обрешётки применяют в качестве оснований под кровлю из листовых материалов. Шаг досок или брусков обрешётки определяется видом и размерами кровельного материала. Поперечное сечение элементов обрешётки определяют расчётом. Минимальная площадь поперечного сечения элементов обрешетки не должна быть меньше 250 мм². Доски или бруски должны иметь длину, достаточную для перекрытия двух пролётов. Пролёт обрешётки принимается равным шагу стропильных конструкций, но не более 1500 мм.

Статический расчёт обрешётки выполняют по правилам строительной механики, как для двухпролётной неразрезной балки на две комбинации нагружения:

- а) постоянная и среднесрочная нагрузка от снега (рисунок 2.1, а);
- б) постоянная и кратковременная сосредоточенная (монтажная) нагрузка (рисунок 2.1, б), величина характеристического значения которой $F_k = 1$ кН, расположенной в пролёте обрешётки на расстоянии $0,432l_d$ от опоры.

Сосредоточенную нагрузки распределяют на один элемент обрешётки, если расстояние b между осями элементов более 150 мм, и на два элемента, если $b \leq 150$ мм (рисунок 2.2).

Проверку предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности элементов обрешётки выполняют как однослойного разреженного настила в соответствии с правилами подразделов 7.3 и 8.1 [1].

Поскольку плоскость действия вертикальной нагрузки не совпадает с главными геометрическими осями сечения элементов обрешётки (рисунок 2.3), их

проверку выполняют как для элементов подверженных изгибу в двух плоскостях (косой изгиб) в соответствии с правилами п. 7.3.4 [1], т.е. по формулам

$$\frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} + k_m \cdot \frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1, \quad (2.9)$$

$$k_m \cdot \frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} + \frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1, \quad (2.10)$$

где $M_{y,E,d}$ и $M_{z,E,d}$ – расчетные значения изгибающих моментов от сочетания нагрузок в сечении элемента обрешётки относительно оси Y и оси Z;

$M_{y,R,d}$ и $M_{z,R,d}$ – расчетные значения сопротивлений в нормальном сечении элемента обрешётки изгибу относительно оси Y и оси Z;

k_m – коэффициент, учитывающий перераспределение нормальных напряжений по высоте сечения элемента, для элементов прямоугольного сечения $k_m = 0,7$.

Расчётные значения изгибающих моментов определяют по формулам:

$$M_{y,E,d} = M_d \cdot \cos \alpha, \quad (2.11)$$

$$M_{z,E,d} = M_d \cdot \sin \alpha. \quad (2.12)$$

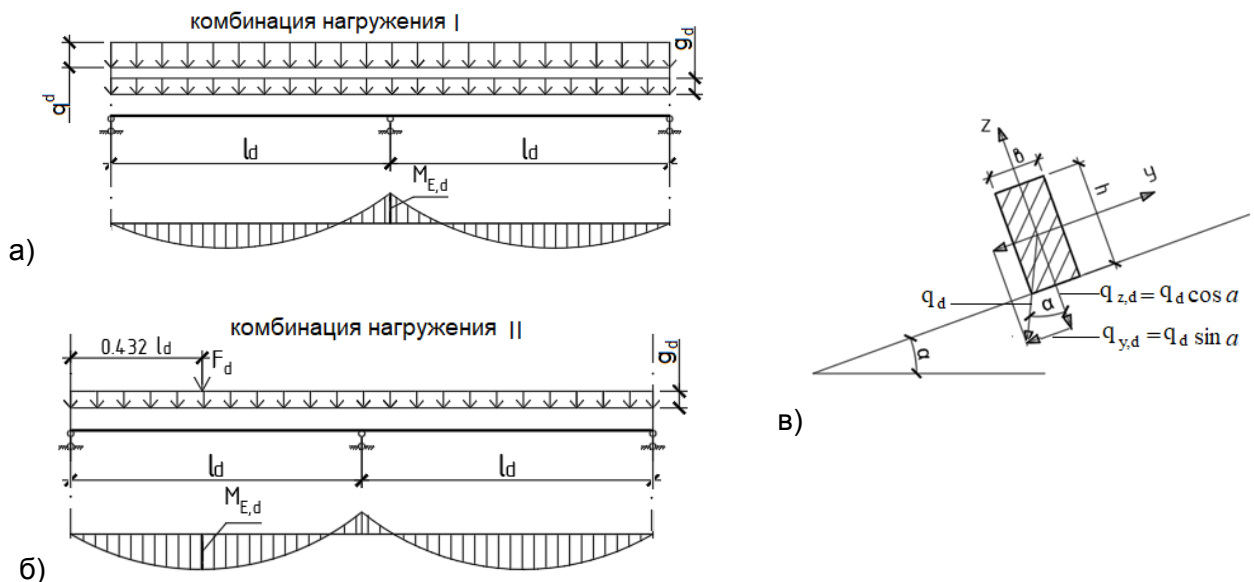


Рисунок 2.3 – Расчётная схема настила и обрешётки
 а – для комбинации нагружения I; б – для комбинации нагружения II;
 в – косой изгиб в обрешётке.

Проверку предельного состояния эксплуатационной пригодности элементов обрешётки выполняют в соответствии с п. 2.1.11 – 2.1.15, учитывая следующие особенности:

– расчётное значение прогиба элемента обрешётки в условия косоуго изгиба определяют по формуле

$$u_{E,d} = u_{fin,d} = \sqrt{u_{z,fin,d}^2 + u_{y,fin,d}^2}, \quad (2.13)$$

где $u_{fin,d}$ – расчетное значение полного прогиба;

$u_{z,fin,d}$ – расчётное значение составляющей полного прогиба в плоскости, перпендикулярной скату (по оси Z);

$u_{y,fin,d}$ – расчётное значение составляющей полного прогиба в плоскости, параллельной скату (по оси Y).

При определении полного $u_{fin,d}$ прогиба элемента обрешётки учитывают две составляющие:

– величину начального $u_{inst,d}$ полного прогиба как результат кратковременного приложения нагрузок;

– величину $u_{creep,d}$ полного прогиба от ползучести древесины при длительном приложении нагрузок.

Значение начального прогиба элемента обрешётки в направлении оси Z и оси Y определяют по формулам (2.14) и (2.15).

$$u_{Z,inst,d} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{Fl} \cdot (g_{z,k,l} + q_{z,k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot J_{y,d}}, \quad (2.14)$$

$$u_{Y,inst,d} = \frac{2,13}{384} \cdot \frac{k_{Fl} \cdot (g_{z,k,l} + q_{z,k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot J_{z,d}}, \quad (2.15)$$

где $g_{z,k,l} = g_{k,l} \cdot \cos \alpha$; $q_{z,k,l} = q_{k,l} \cdot \cos \alpha$ – характеристические значения постоянной и снеговой нагрузки, действующей в направлении оси Z;

$g_{y,k,l} = g_{k,l} \cdot \sin \alpha$, $q_{y,k,l} = q_{k,l} \cdot \sin \alpha$ – характеристические значения постоянной и снеговой нагрузки по оси Y;

$E_{0,mean}$ – среднее значение модуля упругости древесины вдоль волокон, принимаемое из приложения А [7] или таблицы 6.2 [1];

$$J_{y,d} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{и} \quad J_{z,d} = \frac{b^3 h}{12}. \quad - \text{ расчетные значения моментов инерции}$$

поперечного сечения элемента относительно осей Y и Z соответственно.

Прогиб от ползучести древесины определяют по формулам:

– для постоянной нагрузки g в направлении осей Z и Y соответственно

$$u_{Z,g,fin,d} = u_{Z,g,inst,d} \cdot (1 + k_{def}), \quad (2.16)$$

$$u_{Y,g,fin,d} = u_{Y,g,inst,d} \cdot (1 + k_{def}); \quad (2.17)$$

– для практически постоянного сочетания нагрузки q:

$$u_{Z,q,fin,d} = u_{Z,q,inst,d} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}), \quad (2.18)$$

$$u_{Y,q,fin,d} = u_{Y,q,inst,d} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}), \quad (2.19)$$

где $u_{Z,g,inst,d}$, $u_{Z,q,inst,d}$, $u_{Y,g,inst,d}$ и $u_{Y,q,inst,d}$ – расчетные значения начального прогиба от постоянной и снеговой нагрузки по направлению оси Z и Y соответственно;

k_{def} – коэффициент, учитывающий ползучесть материала, значение которого принимают из таблицы 5.5 [1];

ψ_2 – коэффициент, значение которого принимают из таблицы 5.3 [1].

Расчётные значения составляющих прогиба по направлению осей Z и Y определяют по формулам

$$u_{Z,fin,d} = u_{Z,g,fin,d} + u_{Z,q,fin,d}, \quad (2.20)$$

$$u_{Y,fin,d} = u_{Y,g,fin,d} + u_{Y,q,fin,d} \quad (2.21)$$

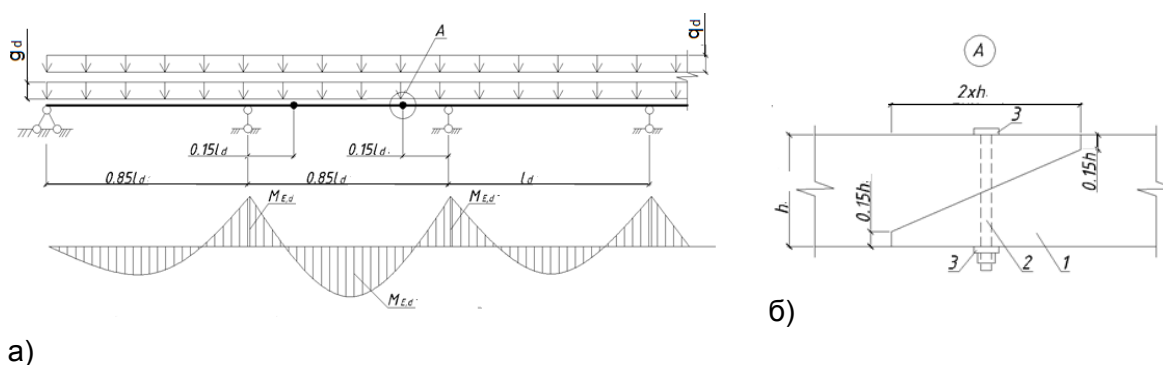
2.3 Конструирование и расчёт прогонов

Прогоны предназначены для восприятия нагрузок от кровли и передачи её на несущие конструкции покрытия. Обычно применяют прогоны следующих типов: разрезные, консольно-балочные и неразрезные (спаренные).

Прогоны могут изготавливаться из пиломатериалов, клееной древесины, древесины клееного шпона, комбинации плитных материалов (ОСП, фанеры, ДВП) поперечным сечением в форме двутавра (стенками из ОСП, фанеры, ДВП, а пояса – из пиломатериалов). По статической схеме прогоны бывают разрезные и неразрезные.

Разрезные прогоны рекомендуется применять при пролётах более 6 м. Такие прогоны выполняются, как правило, из клееной древесины или же из пиломатериалов (досок на ребро) с выполнением стыков впритык на опорах по их длине.

Консольно-балочные прогоны применяются при шаге несущих конструкций до 4,7 м и выполняются из пиломатериалов цельного сечения. Стыки-шарниры таких прогонов размещают попарно через пролёт, выполняя их косым прирубом с постановкой одного или двух болтов диаметром не менее 8 мм (рисунок 2.4). При расположении шарниров на расстоянии $0,15l_d$ от центра опоры, где l_d – пролёт прогона, и длине крайних пролётов $0,85l_d$, максимальные изгибающие моменты на опорах и в пролётах равны. При таких длинах крайних и внутренних пролётов, расчетную схему прогонов рассматривают как равномоментную.



1 – прогон; 2 – болт; 3 – квадратная шайба

Рисунок 2.4 – Расчетная схема и конструктивное решение стыка консольно-балочного прогона

а – расчётная схема и эпюра изгибающих моментов; б – шарнир в виде косого прируба;

Неразрезные (спаренные) прогоны применяются при шаге несущих конструкций от 4,5 до 6,0 м и состоят из двух спаренных досок, установленных на ребро. Доски стыкуют по длине в разбежку слева и справа от центра опор на расстоянии $0,2l_d$, т.е. в месте нулевого момента. Стыки осуществляются с использованием гвоздей, количество которых определяют расчетом.

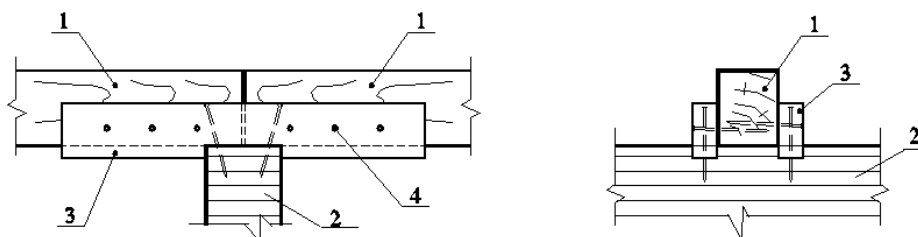
На участках между стыками доски соединяются между собой по ширине гвоздями, располагаемыми по длине прогона через 500 мм в шахматном порядке, то есть вблизи верхней и нижней граней прогона.

В условиях косоугольного изгиба применяются разрезные и консольно-балочные прогоны. Неразрезные (спаренные) прогоны применяются в условиях, когда вертикальная нагрузка перпендикулярна поверхности верхней грани прогона, т.е. косоугольный изгиб исключен.

При назначении размеров поперечного сечения прогонов рекомендуется соблюдать соотношение высоты и ширины в пределах $h/b = (1,25 \div 1,75)$.

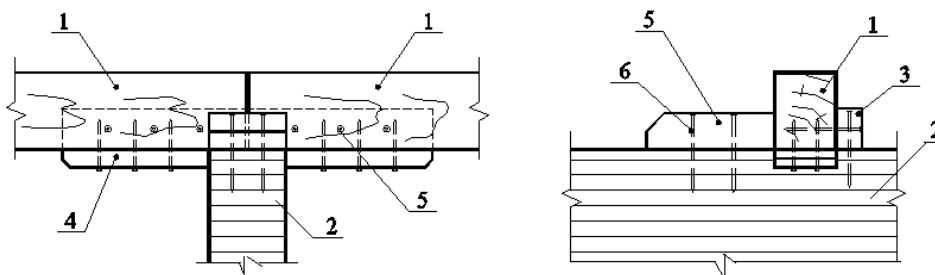
Соединение прогонов с несущими конструкциями осуществляют с использованием механических связей (гвоздей, шурупов, винтов, стальных кронштейнов и т. п.).

Конструктивное решение соединения прогона с несущей конструкцией зависит от типа прогона и наклона несущей конструкции. Некоторые конструктивные схемы узлов соединений прогонов с несущими конструкциями покрытий приведены на (рисунок 2.5 ÷ 2.8).



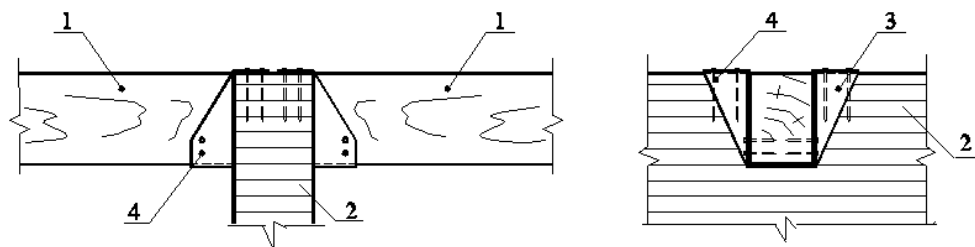
1 – разрезной прогон; 2 – горизонтально расположенная несущая конструкция покрытия;
3 – деревянные накладки с посадочным вырезом на гвоздях; 4 – гвозди

Рисунок 2.5 – Схема узла соединения разрезного прогона с горизонтально расположенной несущей конструкцией покрытия



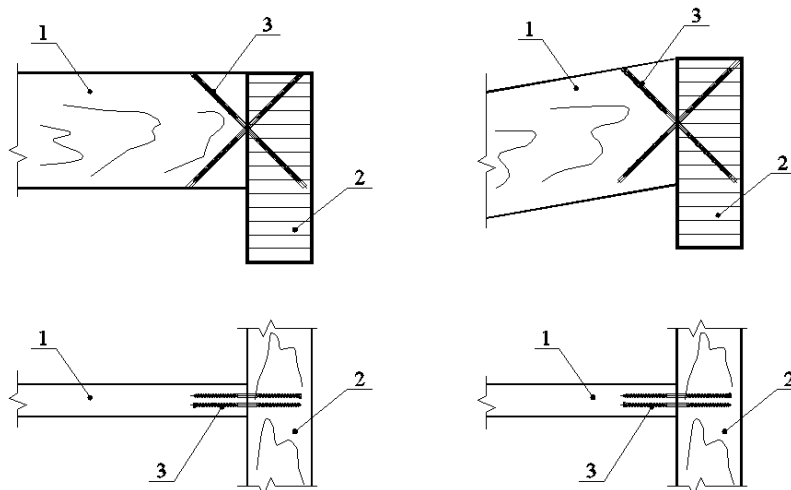
1 – разрезной прогон; 2 – горизонтально расположенная несущая конструкция покрытия;
3 – деревянная накладка на гвоздях; 4 – дощатые прибоины на гвоздях;
5 – деревянная упорная бобышка на гвоздях; 6 – гвозди

Рисунок 2.6 – Схема узла соединения разрезного прогона с горизонтально расположенной несущей конструкцией покрытия



1 – разрезной прогон; 2 – горизонтально расположенная несущая конструкция покрытия;
3 – стальной кронштейн из гнутой полосы на гвоздях (дюбелях); 4 – гвозди

Рисунок 2.7 – Схема узла соединения разрезного прогона с горизонтально расположенной несущей конструкцией покрытия с использованием кронштейнов



1 – разрезной прогон; 2 – балка деревянная; 3 – винты

Рисунок 2.8 – Схема узла соединения разрезного прогона и несущего элемента покрытия с помощью винтов с разным шагом резьбы

Узлы соединения прогонов с несущими конструкциями условно классифицируют на две группы: узлы с опиранием прогонов на верхнюю кромку несущей конструкции (балки, арки, пояса ферм, ригели рам) и узлы с расположением верхней грани прогонов в уровне или ниже верхней грани несущей конструкции.

При расчете предельных состояний несущей способности узлового соединения прогона с несущей конструкцией выполняют:

- проверку сопротивления опорной площадки прогона смятию древесины перпендикулярно волокнам в соответствии с правилами пп. 7.3.3 и 7.3.4 [1];
- проверку несущей способности соединения на механических связях (гвоздей, шурупов, стальных элементов и т.п.) в соответствии с правилами раздела 9 в [1].

Для узлов второй группы используют специальные стальные детали виде кронштейнов, уголков, тавровых пластин или же длинных винтов, завинчиваемых под наклоном как в тело прогона, так и самой несущей конструкции. Расчет таких типов узлов зависит от принятого конструктивного решения узла.

Проверку предельных состояний несущей способности прогонов выполняют в соответствии с правилами, установленными в подразделе 7.3 [1], т. е. должны соблюдаться условия

$$\frac{M_{y,E,d}}{M_{y,R,d}} \leq 1, \quad (2.22)$$

$$\frac{M_{z,E,d}}{M_{z,R,d}} \leq 1, \quad (2.23)$$

$$\frac{V_{E,d}}{V_{R,d}} \leq 1, \quad (2.24)$$

где $M_{y,E,d}$ и $M_{z,E,d}$ – расчетные значения изгибающего момента в сечении прогона, если изгиб происходит относительно осей y и z соответственно, обусловленного внешними воздействиями;

$V_{E,d}$ – расчетное значение сдвигающего усилия в сечении прогона, обусловленного внешним воздействием;

$M_{y,R,d}$ и $M_{z,R,d}$ – расчетные значения сопротивления в нормальном сечении прогона, подверженного изгибу относительно осей y и z соответственно;

$V_{R,d}$ – расчетное значение сопротивления сдвигу древесины вдоль волокон в сечении прогона.

Значения $M_{y,R,d}$, $M_{z,R,d}$ и $V_{R,d}$ определяют в соответствии с правилами п. 7.3.2 и п. 7.3.3 [1].

Расчётные значения изгибающих моментов $M_{y,E,d}$ и $M_{z,E,d}$ в сечениях прогонов, нагруженных по всему пролету равномерно распределенной нагрузкой g_y и g_z в направлении осей y и z , определяют по формулам:

– для разрезного прогона

$$M_{y,E,d} = \frac{g_{z,d,l} \cdot l_d^2}{8}, \quad (2.25)$$

$$M_{z,E,d} = \frac{g_{y,d,l} \cdot l_d^2}{8}; \quad (2.26)$$

– для консольно-балочного прогона

$$M_{y,E,d} = \frac{g_{z,d,l} \cdot l_d^2}{16}, \quad (2.27)$$

$$M_{z,E,d} = \frac{g_{y,d,l} \cdot l_d^2}{16}; \quad (2.28)$$

– для неразрезного (спаренного) прогона

$$M_{y,E,d} = \frac{g_{z,d,l} \cdot l_d^2}{12}, \quad (2.29)$$

$$M_{z,E,d} = \frac{g_{y,d,l} \cdot l_d^2}{12}, \quad (2.30)$$

где $g_{y,d,l}$ и $g_{z,d,l}$ – расчётные значения равномерно распределённых нагрузок в направлении осей y и z , определённые с учётом их комбинационных сочетаний в соответствии с п. 5.3.5 [1];

l_d – расчётный пролёт прогона.

При расположении прогонов на поясах стропильных конструкций, когда $\text{tg } \alpha = 0,05 \div 0,13$, расчёт прогонов допускается выполнять на составляющую g_z . Если к прогонам и верхней кромке стропильной конструкции прикреплен двухслойный косой настил, при расчете прогонов скатную g_y составляющую не производят.

Проверку предельных состояний эксплуатационной пригодности прогонов выполняют в соответствии с правилами раздела 8 [1], т. е. соблюдения условия

$$u_{E,d} \leq u_{C,d}, \quad (2.31)$$

где $u_{E,d}$ – расчетное значение прогиба прогона в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности, определяемое на основе расчета;

$u_{C,d}$ – предельно допустимое значение прогиба прогона.

Расчётное значение $u_{E,d}$ прогиба определяет от непосредственного приложения нагрузки и с учётом ползучести древесины, используя формулу

$$u_{E,d} = u_{fin,d} = u_{inst,d} + u_{creep,d}, \quad (2.32)$$

где $u_{inst,d}$ – расчетное значение начального прогиба от непосредственного приложения нагрузки для их характеристического сочетания;

$u_{creep,d}$ – расчетное значение прогиба от ползучести древесины для практически постоянного сочетания нагрузок.

Расчетные значения начальных $u_{inst,d}$ прогибов определяют по формулам:

– для разрезного прогона

$$u_{inst,d} = \frac{5}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d}, \quad (2.33)$$

– для консольно-балочного прогона

$$u_{inst,d} = \frac{2}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d}, \quad (2.34)$$

– для неразрезного прогона

$$u_{inst,d} = \frac{1}{384} \cdot \frac{k_{F1} \cdot (g_{k,l} + q_{k,l}) \cdot l_d^4}{E_{0,mean} \cdot I_d}. \quad (2.35)$$

Расчетное значение составляющей прогиба в результате ползучести древесины определяют по формуле (2.36)

$$u_{creep,d} = u_{inst,d} \cdot k_{def}. \quad (2.36)$$

2.4 Основные правила конструирования и расчета плит покрытий

Для покрытий зданий могут использоваться как утепленные, так и неутепленные плиты покрытий. Для мягких кровель используют следующие типы утепленных плит:

- ребристые с двусторонними обшивками из водостойкой фанеры;
- с двусторонними обшивками из плоских асбестоцементных листов на шурупах по деревянному каркасу;
- с двусторонними обшивками из ОСП или ЦСП.

Для кровель из волнистых асбестоцементных листов, стального профилированного настила, плоских стальных листов, черепицы и т. п. используют:

- ребристые с нижней обшивкой из водостойкой фанеры по деревянному каркасу;
- с нижней обшивкой из плоских асбестоцементных листов, ОСП, ЦСП или декоративного фибролита и других звукопоглощающих материалов на шурупах по деревянному каркасу.

В качестве утеплителя рекомендуется использовать минераловатные плиты на синтетическом связующем, укладываемые на нижнюю обшивку по слою наклеенной или покрасочной пароизоляции.

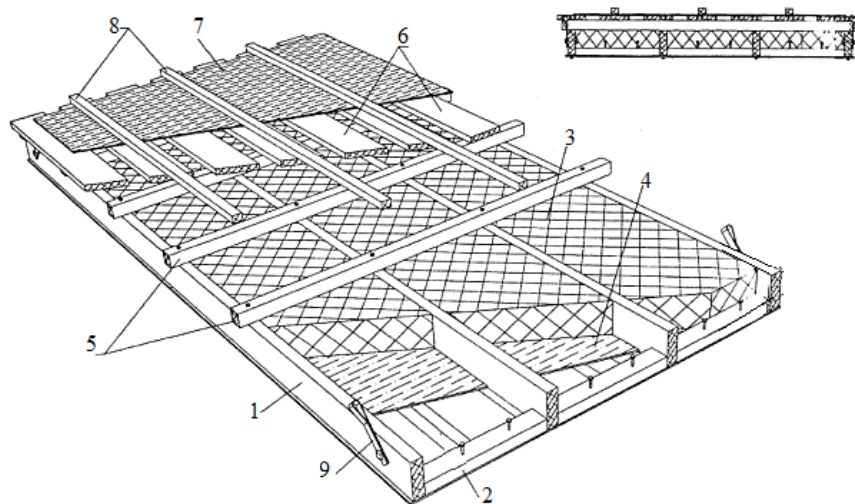
Некоторые примеры конструктивных решений плит покрытия приведены на рисунках 2.9 и 2.10.

Крепление плит к несущим конструкциям в местах их опирания рекомендуется устраивать сверху на пролетную конструкцию. Конструкция крайних продольных ребер должна допускать выполнение утепленного стыка между плитами (рисунок 2.10).

Рекомендуемые размеры плит:

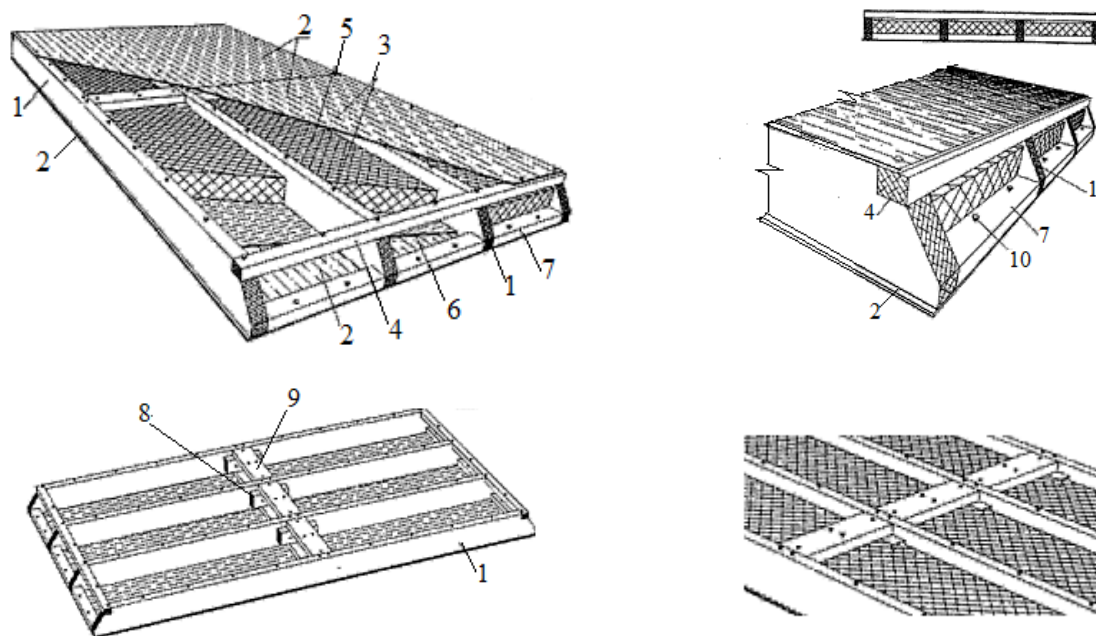
- номинальная b ширина 1,5 м;
- высота h составляет $1/30 \div 1/20$ от ее длины l ;
- длина l до 6 м при опирании на несущие конструкции, располагаемые поперек здания.

При шаге несущих конструкций 3 м рекомендуется применять двухпролетные плиты длиной 6 м и доборные длиной 3 м. Укладку тех и других плит должны выполнять вразбежку. При шаге несущих конструкций 4,5 и 6 м рекомендуется использовать однопролетные плиты номинальной длиной 4,5 и 6 м. В случае опирания плит на несущие конструкции, расположенные вдоль здания, при двухскатных и односкатных кровлях допускается использовать плиты с номинальной длиной 9 и 12 м.



1 – продольные несущие ребра из пиломатериалов или клееной древесины; 2 – нижняя обшивка, соединенная с ребрами посредством винтов или скоб; 3 – утеплитель; 4 – пароизоляция; 5 – бруски для обеспечения продуха утеплителя; 6 – дощатый разреженный настил; 7 – паропроницаемый гидроизоляционный слой; 8 – обрешетка под черепичную кровлю; 9 – монтажные петли

Рисунок 2.9 – Конструктивная схема плиты покрытия на деревянном каркасе с нижней обшивкой из ОСП или ЦСП с поэлементной сборкой черепичной кровли



1 – продольные ребра из пиломатериалов или клееной древесины; 2 – обшивки из ОСП или ЦСП; 3 – винты (шурупы) для крепления обшивки; 4 – брусок; 5 – утеплитель; 6 – слой пароизоляция; 7 – распределительная доска; 8 – прокладка (брусок); 9 – стыковочная накладка; 10 – гвозди или виты для крепления плиты к несущим конструкциям

Рисунок 2.10 – Конструктивная схема плиты на деревянном каркасе с верхней и нижней обшивкой из ОСП или ЦСП

Обшивки ребристых плит изготавливаются из фанеры по [8] толщиной не менее 6 мм, а деревянный каркас – из пиломатериалов хвойных пород (см. таблицу 6.2 [1]), клееной древесины (см. таблицу 6.4 [1]) или клееного шпона.

Каркас ребристых плит состоит из продольных ребер. Шаг между осями продольных ребер определяют расчетом. Фанерные обшивки и продольные ребра каркаса соединяются между собой в одно целое на водостойком клее, образуют коробчатое или тавровое расчетное сечение.

Расчет ребристых плит выполняют в соответствии с правилами подраздела 10.3 [1]. Толщина нижней обшивки плит определяется из условий работы ее на растяжение при изгибе целого коробчатого или таврового сечения.

Толщина верхней сжатой обшивки определяется из условия устойчивости при работе на изгиб всего сечения и дополнительно проверяется на местный изгиб от сосредоточенной монтажной нагрузки F . Стыки фанерных обшивок рекомендуется выполнять на «ус» длиной $8 \div 10$ толщин фанеры. Допускается стыкование фанеры с помощью накладок.

В плитах с обшивками из ЦСП, ДВП или ОСП соединение с ребрами выполняют, как правило, на механических связях (гвозди, шурупы, скобы). Шаг продольных ребер определяется расчетом. Поперечные ребра устанавливают по торцам плиты и под стыком обшивок.

Верхнюю обшивку плиты проверяют на прочность и жесткость материала в поперечном сечении, как трехпролетную плиту, находящуюся под воздействием собственного веса, веса кровли и снеговой нагрузки, а также дополнительно – на действие сосредоточенной кратковременной монтажной нагрузки $F = 1$ кН при расчетной ширине верхней обшивки плиты 1000 мм в соответствии с правилами подраздела 10.3 [1]. Нижнюю обшивку проверяют, как трехпролетную плиту, на воздействие ее собственного веса и веса утеплителя. Продольные сплошные ребра рассчитываются, как однопролетные или двухпролетные балки, а продольные ребра с вентиляционными отверстиями рассчитываются, как балки с короткими прокладками на жестких связях. Максимальный прогиб асбестоцементных листов от характеристического значения равномерно распределенной нагрузки не должен превышать $1/400$ расстояния между осями продольных ребер. Максимальный прогиб продольных ребер от характеристического значения нагрузки не должен превышать $1/250$ их расчетного пролета.

3 Несущие конструкции покрытий

3.1 Арки из древесины и материалов на ее основе

Арки – плоские распорные конструкции, в которых действие вертикальных нагрузок вызывает появление наклонных реакций в опорах. Горизонтальные составляющие опорных реакций в арках называют распором, который должен учитываться при проектировании фундаментов или опорных участков элементов зданий.

Для восприятия распора в арках могут использовать затяжки. При наличии затяжки одна из опор арки выполняется шарнирно-неподвижной, а вторая – шарнирно-подвижной. В качестве опор для таких арок могут использоваться

элементы каркаса здания (колонны, ригели) или стены относительно небольшой толщины, геометрические параметры которых определяются расчетом.

Использование арок в качестве основных несущих конструкций покрытий зданий или пролетных строений мостов позволяет перекрывать большие пролеты без использования промежуточных опор.

Арки используют при строительстве покрытий ангаров, стадионов, выставочных павильонов, аквапарков, манежей, зданий многофункционального назначения, складов и других строительных сооружений в качестве элементов несущих каркасов [9-14].

По отношению к центральной вертикальной оси арки, как правило, проектируют симметричными. При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается несимметричное выполнение арки [10, 13].

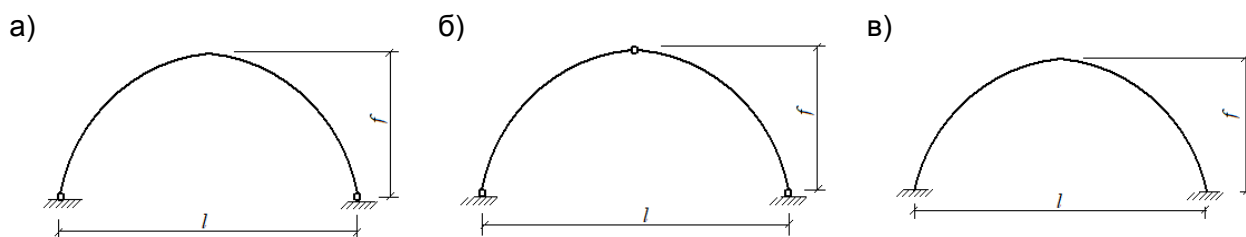
Исходя из технологических возможностей изготовления, а также архитектурных требований, аркам могут придаваться различные очертания (в виде дуги окружности, эллипса и др.) [9, 11, 13]. При выборе формы арки необходимо стремиться, чтобы она максимально приближалась к кривой давления, т. е. имела такое очертание, при котором значения изгибающих моментов в поперечных сечениях были близки нулю.

Классификация арок

По используемым материалам арки классифицируют:

- на арки из пиломатериалов (брусчатые на пластинчатых нагелях и кружальные арки из досок на гвоздях);
- арки из клееной древесины (дощатоклееные) [9, 12, 13];
- арки из клееного шпона (LVL) [13];
- клееные дощато-фанерные арки;
- арки из перекрестно-клееной древесины (CLT).

В зависимости от статической схемы деревянные арки бывают: двухшарнирные, трехшарнирные и бесшарнирные (рисунок 3.1).



а) – двухшарнирные; б) – трехшарнирные; в) – бесшарнирные

Рисунок 3.1 – Статические схемы арок

В зависимости от очертания оси можно выделить следующие формы деревянных арок:

- арки кругового (пологого) очертания, состоящие из двух криволинейных элементов (полуарок), оси которых принадлежат одной окружности и соединенных в коньке (рисунок 3.2,а) [9, 13];

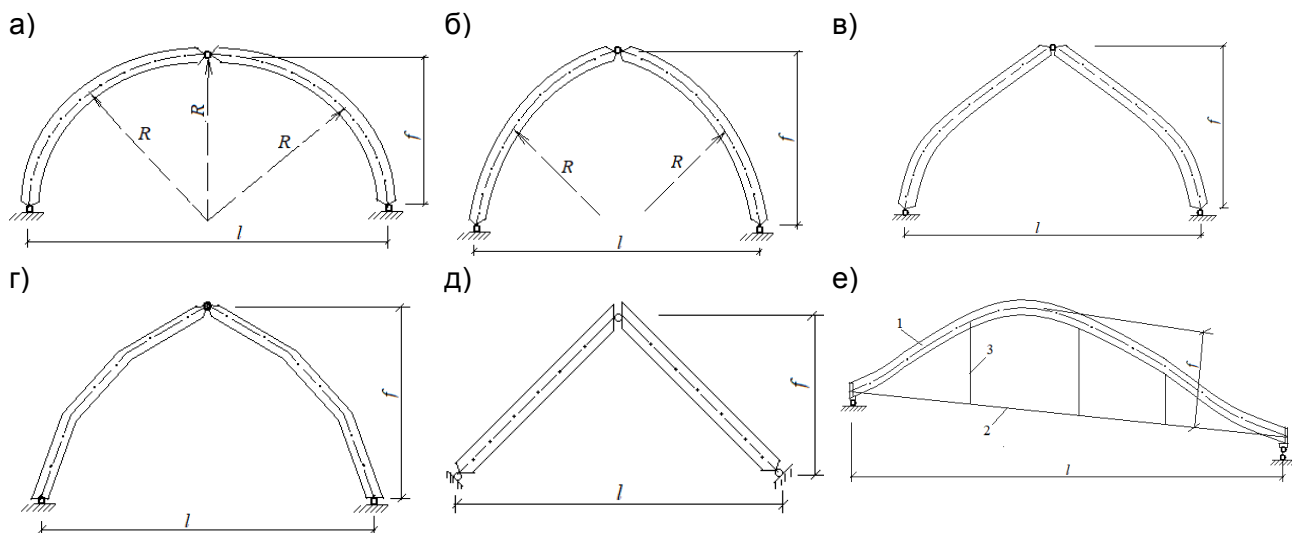
– арки стрельчатого очертания (высокие арки), состоящие из полуарок, оси которых располагаются на двух окружностях, смыкающихся в коньке под углом (рисунок 3.2,б) [12, 13];

– арки параболического очертания [13] (рисунок 3.2,в);

– арки многоугольного очертания [9, 12, 13] (рисунок 3.2,г);

– арки треугольного очертания [13] (рисунок 3.2,д);

– арки волнообразного очертания [15] (рисунок 3.2,е).



1 – арка; 2 – затяжка; 3 – подвески

а) – кругового очертания (пологие); б) – стрельчатого очертания (высокие);

в) – параболического очертания; г) – ломаного очертания (многоугольные);

д) – треугольного очертания; е) – волнообразного очертания

Рисунок 3.2 – Геометрические схемы арок

В зависимости от типа и формы поперечного сечения арки могут быть:

– сплошного сечения (прямоугольного или двутаврового, рисунок 3.3, а, в и е);

– спаренного сечения, состоящего из двух элементов, соединённых по ширине механическими связями (болтами, вклеенными стержнями, винтами, рисунок 3.3,б);

– коробчатого сечения из клееной древесины, клееной древесины и фанеры (рисунок 3.3,г и д);

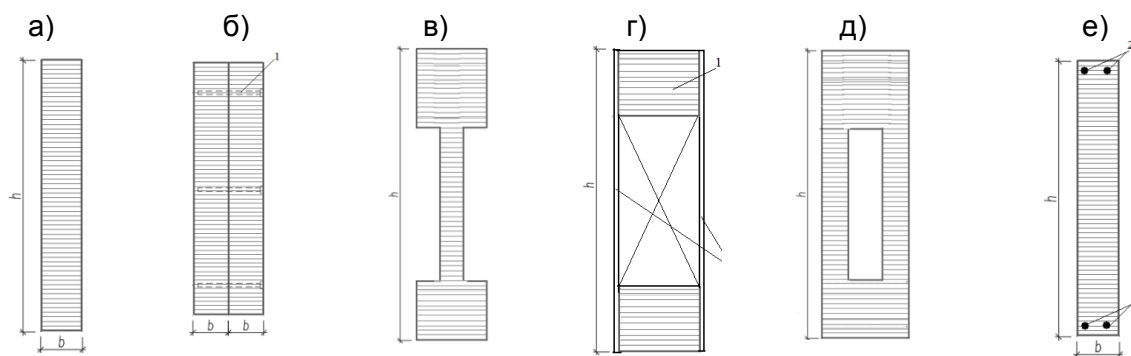
– армированного сечения с использованием стальных или полимерных стержней (рисунок 3.3,е).

Восприятие распора арок может быть:

– непосредственно железобетонными фундаментами;

– несущими конструкциями каркаса здания;

– стальной затяжкой.



- 1 – клеенные стержни или винты; 2 – арматурные стержни; 3 – элементы из фанеры
 а) – сплошное; б) – составное; в) – двутавровое из клееной древесины;
 г) – коробчатое из древесины и фанеры; д) – коробчатое из клееной древесины;
 е) – сплошное армированное

Рисунок 3.3 – Формы поперечных сечений арок

Область применения арок

Деревянные арки применяют в качестве основных несущих конструкций зданий различного назначения (сельскохозяйственные, гражданские и общественные). Пролет арок может находиться от 12 м до 100 м и более [9, 12, 13].

В строительных сооружениях, как правило, используют арки заводского изготовления из дощатоклееной древесины с небольшим количеством типоразмеров унифицированных элементов. Их формы, размеры и несущая способность должны отвечать требованиям покрытия сооружения самого различного назначения, в том числе уникальных по своим размерам и формам. Они должны быть технологичны, малой трудоемкости при изготовлении и транспортировке к объекту строительства.

При проектировании деревянных арок должны выполняться требования по обеспечению их огнестойкости согласно [16], коррозионной стойкости древесины и материалов соединений по отношению к воздействию эксплуатационной среды согласно [17].

Геометрические характеристики арок (пролет l , отношение стрелы подъема f к пролету l) зависят от их формы и эффективности использования и могут находиться в следующих пределах:

– для арок кругового очертания с отношением стрелы подъема к пролету $f/l = 1/4 \div 1/8$, пролет $l = 14 \div 60$ м;

– для арок стрельчатого очертания с отношением стрелы подъема к пролету $f/l = 1/2 \div 1/3$ – пролет $l = 24 \div 60$ м;

– для арок треугольного очертания без затяжек с отношением стрелы подъема к пролету $f/l = 1/2 \div 1/3$ – пролет $l = 12 \div 32$ м;

– для арок ломаного очертания с отношением стрелы подъема к пролету $f/l = 1/4 \div 1/3$ – пролет $l = 18 \div 49$ м;

– для арок треугольного очертания с затяжками с отношением стрелы подъема к пролету $f/l = 1/4 \div 1/6$ – пролет $l = 12 \div 24$ м;

– для арок волнообразного очертания с затяжками с отношением стрелы подъема к пролету $f/l = 1/4 \div 1/5$ – пролет $l = 18 \div 30$ м;

При массовом строительстве складских и спортивных зданий применяют арки сплошного прямоугольного поперечного сечения пролетами 12, 18 и 24 м. Шаг таких арок – 3; 4,5 и 6 м.

Пологие дощатоклееные арки с затяжками и отношением $f/l \leq 1/6$ используют в покрытиях общественных многопролетных зданий пролетами от 12 ÷ 24. Опираение таких арок осуществляется на элементы несущего каркаса, воспринимающие вертикальные усилия.

Стрельчатые дощатоклееные арки ($f/l = 1/2 \div 1/3$) без затяжек (рисунок 3.1,б) чаще применяются в качестве основных несущих конструкций деревянных покрытий производственных зданий значительной высоты без стенового ограждения (придорожные склады антигололедных реагентов, прирельсовые и глубинные склады минеральных удобрений). Опираение таких арок осуществляется непосредственно на фундаменты, передавая им вертикальные и горизонтальные усилия. Наиболее рационально применение стрельчатых дощатоклееных арок без затяжек в покрытиях зданий, где в зоне конька кроме обычных распределенных нагрузок, действуют еще сосредоточенные нагрузки от подвесного технологического оборудования, например от веса тельфера с грузом или веса транспортерной галереи.

Большепролетные пологие дощатоклееные трехшарнирные арки применяют в покрытиях зданий пролетами более 24 м. Опираение таких арок осуществляется на фундаменты. При пролетах менее 18 м арки выполняют двухшарнирными, что уменьшает трудоемкость их изготовления и упрощает монтаж в полносборном виде. Ширина сечений таких арок обычно не превышают 180 мм, что позволяет формировать сечение без стыков ламелей (досок) по кромкам.

Затяжки в арках, как правило, изготавливают из арматурных стальных стержней (при небольших пролетах) или стальных профилей (при больших пролетах).

Для предотвращения затяжек от провисания устанавливают подвески из профилированной стали (прутков, уголков), устанавливаемых на таком расстоянии, чтобы гибкость затяжек не превышала 400.

Для повышения жесткости арок с затяжками при их транспортировке последние могут изготавливаться из клееной древесины, клееного шпона, перекрестноклееной древесины.

Пологие дощатоклееные арки с затяжками применяются в качестве основных несущих конструкций покрытий зданий с кирпичными стенами, железобетонным или стальным каркасом. При использовании таких арок, нижележащие конструкции зданий воспринимают только вертикальные усилия, а распор – затяжкой арки.

Треугольные дощатоклееные арки могут быть только трехшарнирными как с затяжками, так и без них. Пролеты таких арок не превышают 40 м. Несмотря на их

преимущества в изготовлении и устройстве кровли, основным недостатком является возникновение в их сечениях значительных по величине изгибающих моментов от распределенных нагрузок, по сравнению с моментами в сечениях арок кругового очертания.

Арки из брусьев и клееного шпона (LVL) проектируются трехшарнирными как с затяжками, так и без затяжек.

Перекрываемые пролеты с использованием арок из брусьев могут достигать 15 м, а из клееного шпона – 30 м.

Треугольные дощатоклееные арки без затяжек (рисунок 3.2,д) применяют в покрытиях складских зданий треугольного профиля без стен с подвесным оборудованием (монорельс тельфера, подвесная галерея) в коньковой зоне. Опираемые такие арки осуществляются непосредственно на фундаменты. Изгибающие моменты в сечениях таких арок возникают, как правило, от распределенных нагрузок, а сосредоточенные в коньке нагрузки – продольные сжимающие усилия, которые оказывают незначительное влияние при определении размеров поперечных сечений полуарок.

Клееные арки из древесины и фанеры проектируют треугольного или криволинейного очертания. Поперечное сечение таких арок принимают, как правило, коробчатое прямоугольное (рисунок 3.3,г), в котором пояса изготавливают из горизонтально расположенных склеенных по пласти досок, а в фанерными стенках волокна наружных рубашек ориентируют вдоль поясов. Участки в опорных и коньковых узлах таких арок на длине от их торцов $l_1 = h \div 1,5h$ проектируют сплошного сечения из клееной древесины, где h – высота поперечного сечения арки.

Клееные дощато-фанерные арки применяют реже, чем арки из дощатоклееной древесины или клееного шпона из-за трудоемкости их изготовления. Высота поперечного сечения таких арок $h = l/30 \div l/50$, отношение $f/l = (1/2 \div 1/6)$, а пролет $l = 12 \text{ м} \div 30 \text{ м}$.

Брусчатые арки на пластинчатых нагелях проектируют трехшарнирными, треугольного очертания со стальными затяжками пролетом от 9 м до 15 м, опирающимися на конструкции стен. Высота сечения арок $h = (1/50 \div 1/80)l$, а отношение $f/l = 1/4 \div 1/6$. Такие арки в настоящее время не применяют из-за сложности изготовления.

Арки из перекрестно-клееной древесины применяют в покрытиях общественных зданий пролетами от 9 м до 21 м и отношением $f/l = 1/2 \div 1/4$.

Рекомендации по конструированию и расчету арок

Для пологих арок стрела подъема f принимается равной не менее $l/6$, а при соответствующем технико-экономическом обосновании может быть уменьшена до $l/7 \div l/8$.

Для стрельчатых (высоких) арок стрелу подъема f рекомендуется принимать в пределах $l/3 \div 2l/3$, где l – пролет арки.

Высоту h поперечного сечения дощатоклееных арок всех типов рекомендуется назначать от $l/30 \div l/50$. Толщину слоев (досок) при радиусе кривизны до 15 м принимают не более 40 мм, а при большем радиусе – не более 50 мм.

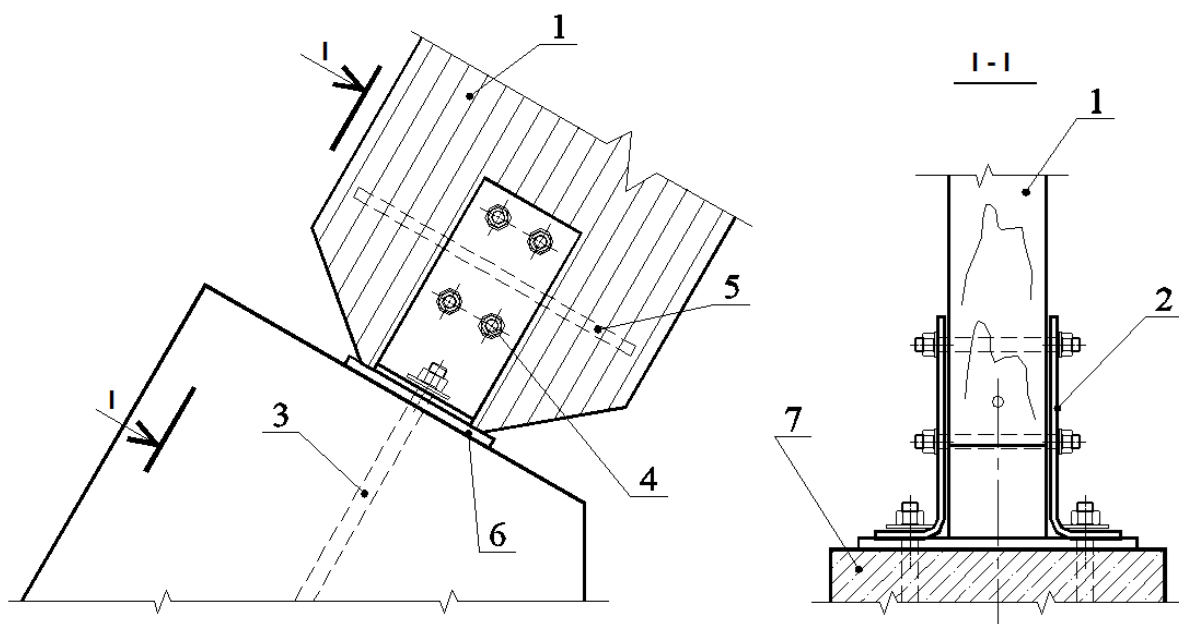
Рекомендуемое отношение стрелы выгиба f_0 дощатоклееных полуарок к радиусу R кривизны должно составлять $f_0/R \leq 1/200$.

В зависимости от перекрываемых пролетов опирание арок на фундаменты или несущие конструкции здания может осуществляться:

– непосредственным упором части или всей торцевой поверхности арки, центрированной по ее оси с фиксацией опорных участков в проектном положении специальными элементами (пластинами, уголками, швеллерами), заделанных в опорные конструкции (рисунок 3.4);

– через стальной шарнир (рисунок 3.5 и 3.6). Такое соединение арки с опорной конструкцией является шарнирным;

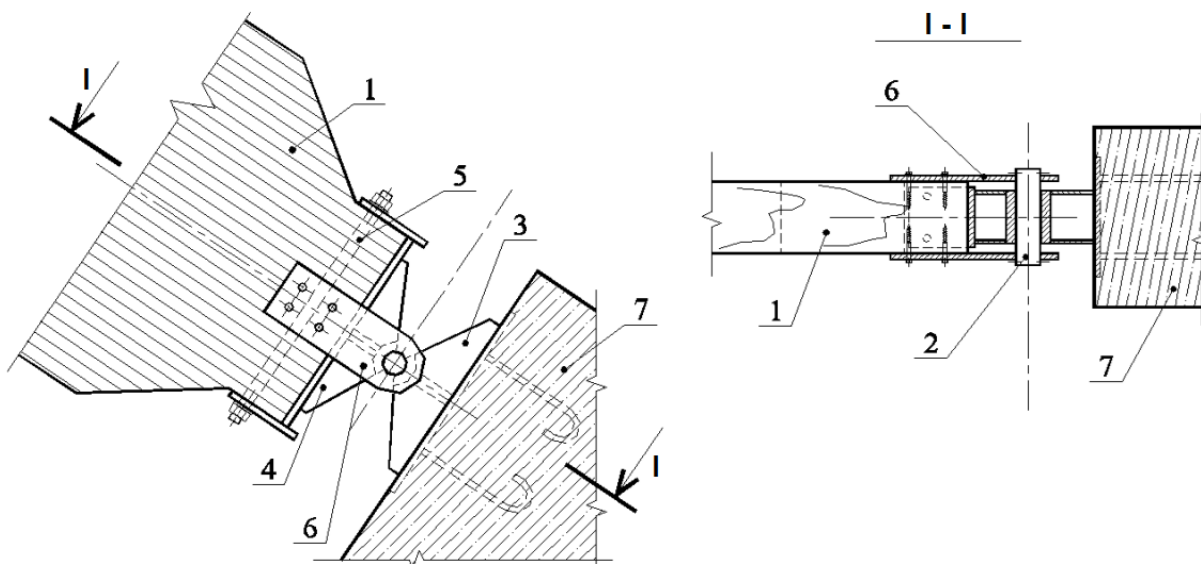
– непосредственным упором всей торцевой поверхности арки на фундамент с фиксацией опорных участков в проектном положении посредством электросварки закладных металлических деталей арки (пластин соединенных с клееными или ввинченными под углом к волокнам древесины стержнями) с закладными металлическими деталями фундамента (рисунок 3.7). При таком конструктивном решении соединение арки с опорной конструкцией является жестким.



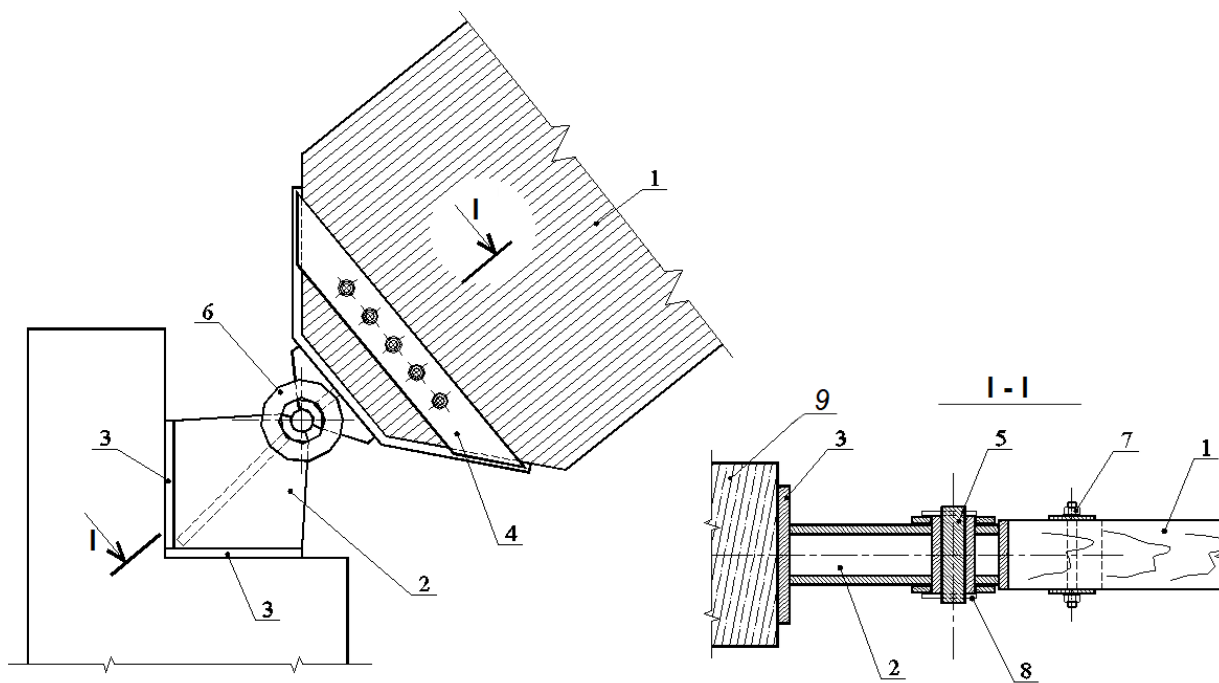
1 – дощатоклееная арка; 2 – металлические уголки; 3 – анкерные болты;
4 – стяжные шпильки; 5 – клеенный стержень;

6 – опорная плита из бакелизированной фанеры; 7 – железобетонная опора

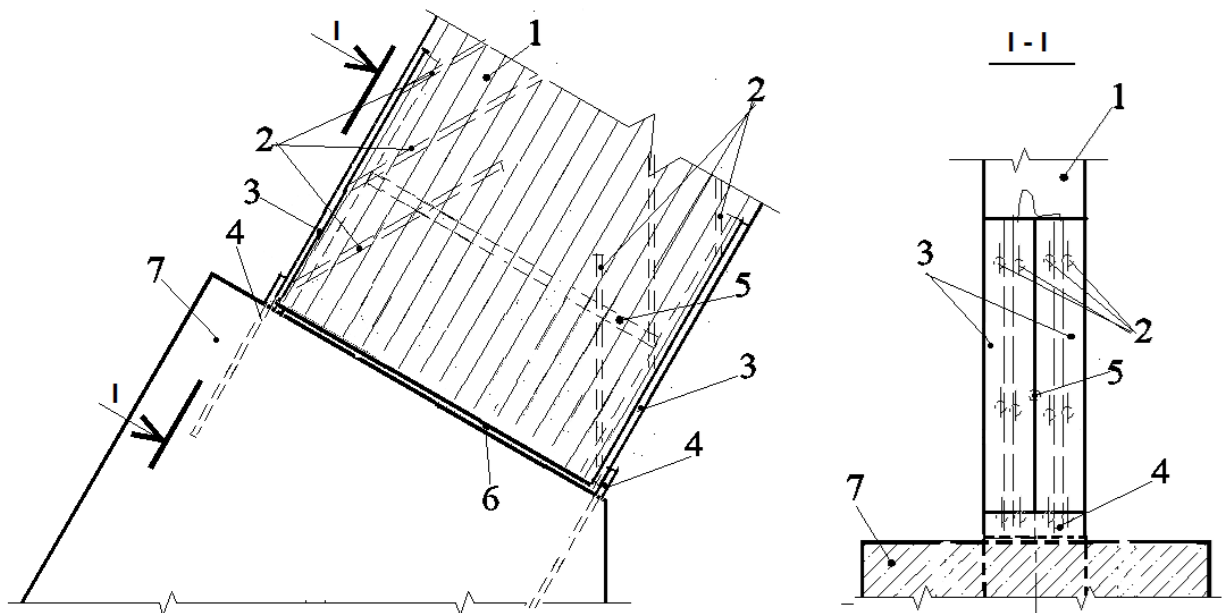
Рисунок 3.4 – Схема шарнирного узла опирания арки на железобетонную опору



1 – дощатоклееная арка; 2 – стальной шарнир;
 3 – опорный башмак; 4 – металлический оголовок;
 5 – стяжные шпильки; 6 – металлическая накладка на глухарях; 7 – фундамент
Рисунок 3.5 – Схема шарнирного узла опирания арки на железобетонную опору с использованием стальных башмаков стаканного типа



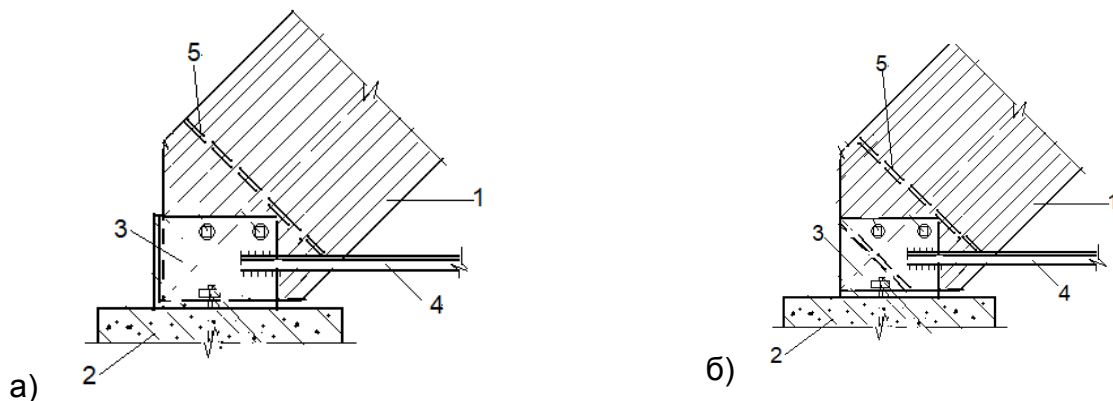
1 – дощатоклееная арка; 2 – металлический опорный столик;
 3 – закладные пластины; 4 – металлический башмак; 5 – стальной шарнир;
 6 – фиксирующие шайбы; 7 – стяжные шпильки; 8 – шпильки; 9 – фундамент
Рисунок 3.6 – Схема шарнирного узла опирания арки на железобетонную опору с использованием стальных башмаков



1 – дощатоклееная арка; 3 – стальные детали таврового сечения с клееными под углом к волокнам древесины арматурными стержнями 2; 4 – стальная закладная деталь фундамента; 5 – стальные арматурные стержни, клеенные перпендикулярно волокнам древесины; 6 – жесткая гидроизоляционная прокладка; 7 – фундамент

Рисунок 3.7 – Схема жесткого узла соединения арки с железобетонной опорой с использованием клеенных стальных стержней

Опорные узлы арок со стальными затяжками могут выполняться в нескольких конструктивных вариантах. При пролетах арок с затяжками менее 24 м соединение арки с затяжкой выполняется в виде общего стального башмака, а в арках пролетами более 24 м используют два отдельных башмака (рисунки 3.8 и 3.9).

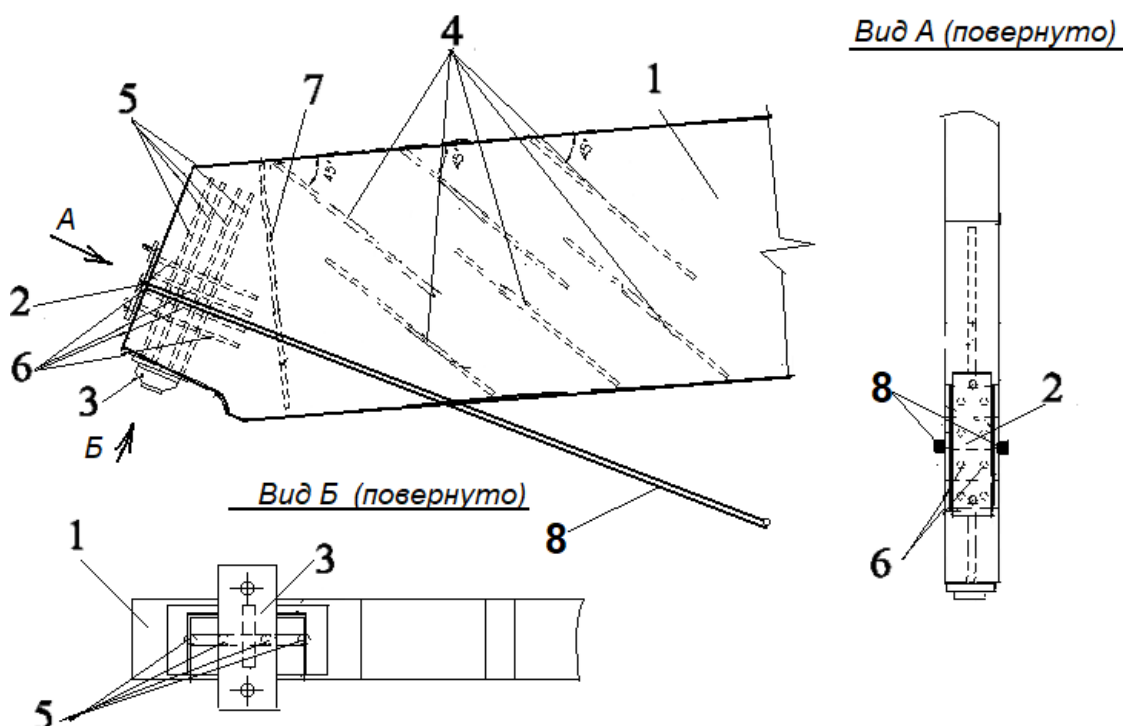


1 – дощатоклееная арка; 2 – опора (колонна, стена и т. п.);
 3 – башмак; 4 – затяжка; 5 – клеенные или ввинченные стержни
 а) – узел с отдельным восприятием распора и опорной реакции;
 б) – узел с лобовой передачей усилия сжатия

Рисунок 3.8 – Схема опорного узла арки с затяжкой общим стальным башмаком

В узлах с общим башмаком восприятие распора и опорной реакции в соединении арки с затяжкой может передаваться раздельно или совместно посредством лобового упора – непосредственным упором части поперечного сечения арки. При таком решении под упорной плитой башмака происходит смятие древесины вдоль волокон. В узлах с раздельным восприятием распора и опорной реакции под плитами башмака возникает сжатие древесины под углом к волокнам от действия вертикального усилия (реакции) и распора. При недостаточной площади опорных площадок под плитами башмаков, для увеличения сопротивлений древесины сжатию под углом к волокнам от действия сжимающих усилий используют клеенные стальные стержни (рисунок 3.9).

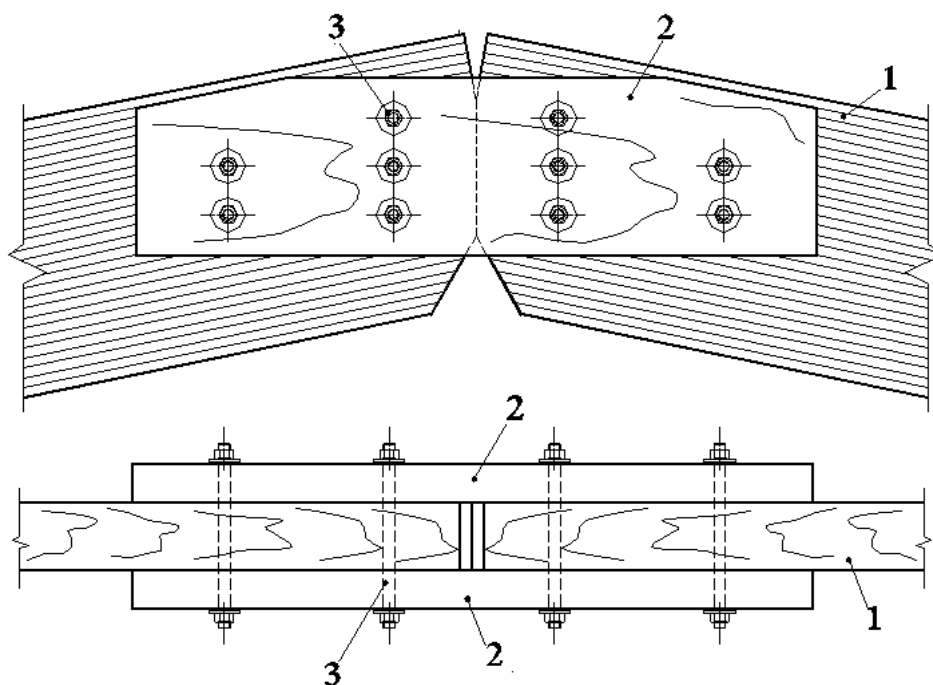
В арках с затяжками пролетом более 30 м одна из опор устраивается подвижной.



1 – дощатоклееная арка; 2 – башмак для крепления затяжки с арматурными клееными стальными стержнями (6); 3 – опорный башмак с пластиной и клееными стальными стержнями (5); 4 – наклонно клеенные по отношению к волокнам древесины стальные арматурные стержни; 7 – перпендикулярно клеенные по отношению к волокнам древесины стальные арматурные стержни; 8 – стальная затяжка

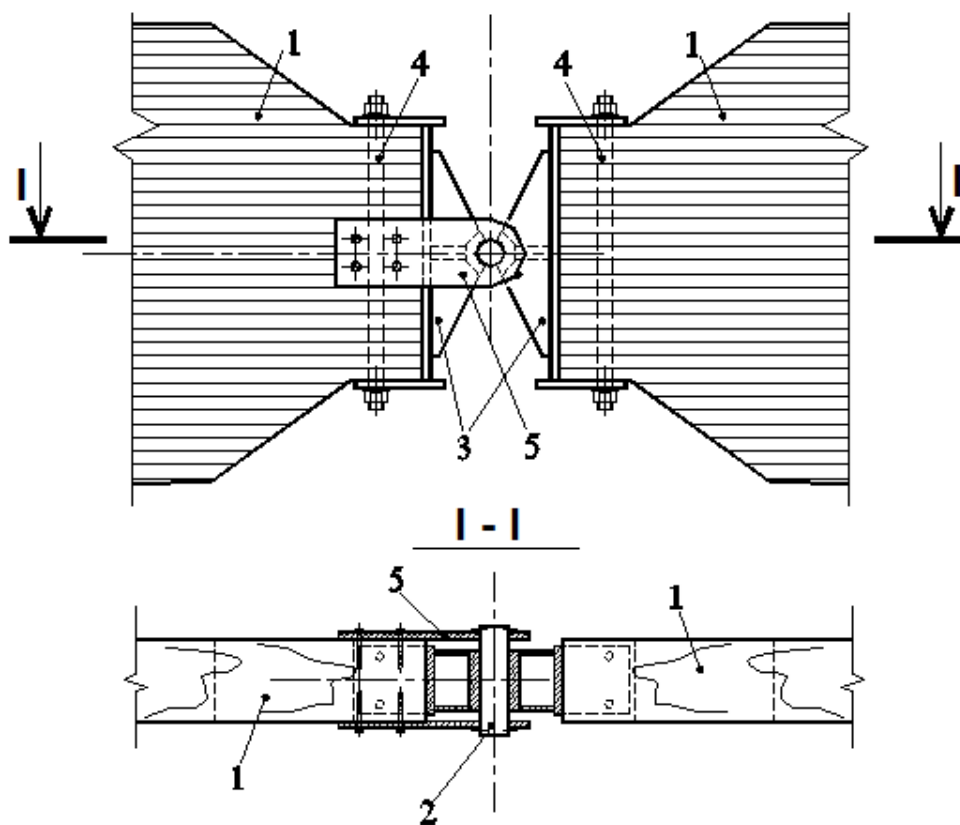
Рисунок 3.9 – Схема опорного узла арки с затяжкой, выполненного с использованием раздельных башмаков

Некоторые примеры конструктивных решений коньковых узлов арок приведены на рисунках 3.10–3.12.



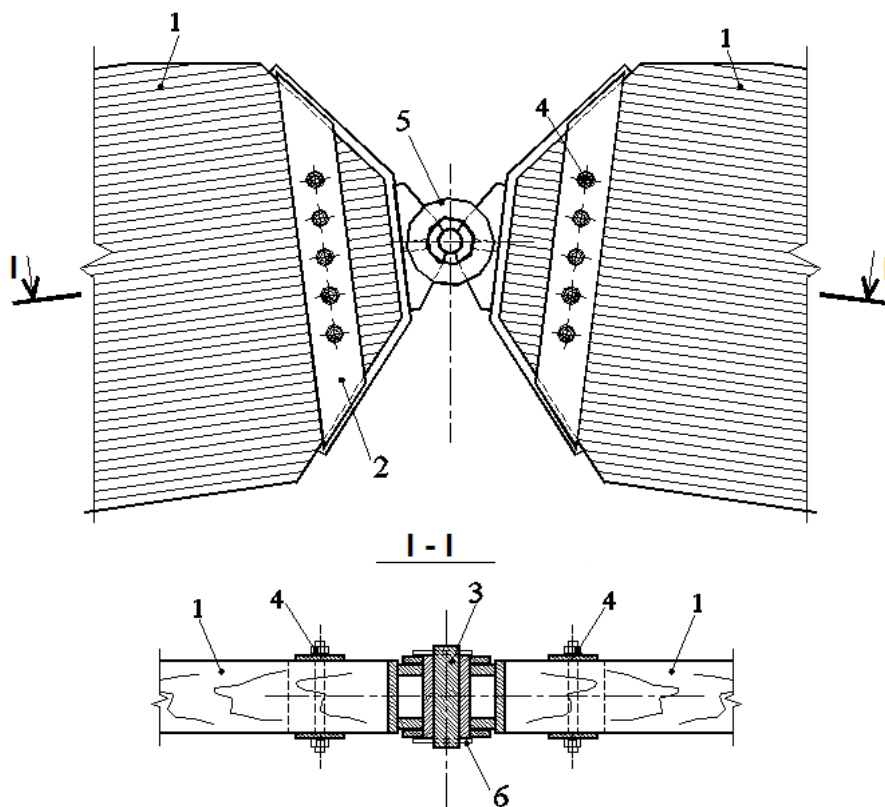
1 – дощатоклееные полуарки; 2 – деревянная накладка; 3 – стяжные нагели в виде шпилек

Рисунок 3.10 – Схема конькового узла арки с непосредственным упором части поперечного сечения



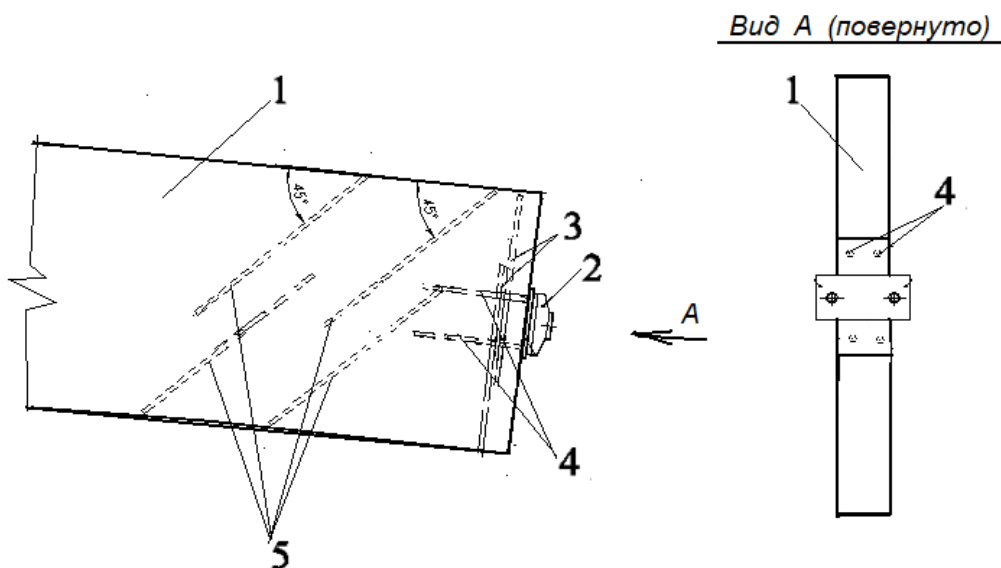
1 – дощатоклееные полуарки; 2 – стальной шарнир; 3 – металлический оголовок; 4 – стяжные шпильки; 5 – металлическая накладка на глухарях

Рисунок 3.11 – Схема конькового узла арки, выполненного с использованием стальных башмаков



1 – дощатоклеенные деревянные полуарки; 2 – металлический башмак;
 3 – стальной шарнир; 4 – стяжные шпильки; 5 – фиксирующие шайбы; 6 – шпильки

Рисунок 3.12 – Схема конькового узла арки, выполненного с использованием стальных башмаков стаканного типа



1 – дощатоклеенная полуарка; 2 – стальной башмак с вклеенными вдоль волокон древесины арматурными стержнями (4); 3 – перпендикулярно вклеенные по отношению к волокнам древесины арматурные стержни; 5 – наклонно вклеенные по отношению к волокнам древесины стальные арматурные стержни

Рисунок 3.13 – Схема конькового узла арки с использованием металлических башмаков и вклеенных стальных арматурных стержней

При шарнирном сопряжении полуарок должны быть установлены боковые накладки – деревянные на болтах или стальные на болтах (глухарях), обеспечивающие

восприятие растягивающих усилий, возникающих в процессе монтажа или эксплуатации между полуарками в коньке, аркой и фундаментом в опорном узле.

Рекомендуемые типы арок могут применяться в зданиях различного назначения с утепленными или неутепленными ограждающими конструкциями (плитами или настилами), изготовленных из различных плитных материалов.

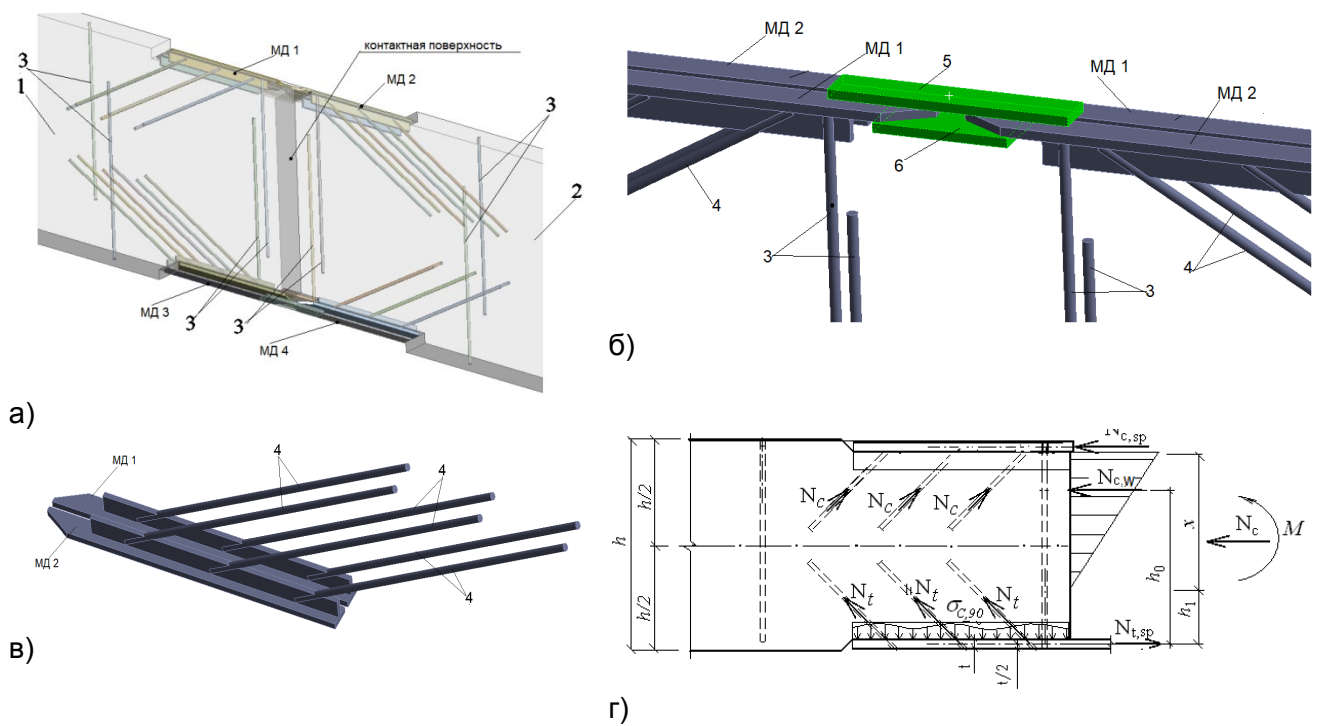
При проектировании покрытий зданий предпочтение следует отдавать двухшарнирным аркам. Пролеты таких арок принимают, исходя из условий заводского изготовления и транспортирования на объект строительства. При наличии таких ограничений устраивают жесткие стыки между элементами арки.

Трехшарнирные арки рекомендуется использовать при пролетах до 60–80 м, а также в тех случаях, когда условия заводской технологии или транспортирования не позволяют применить двухшарнирные арки.

При пролетах более 70 м чаще всего используют двухшарнирные арки, состоящие из трех отпавных элементов одинаковой длины с жесткими стыками. Узлы стыков должны располагаться в зонах минимальных изгибающих моментов.

Пример конструктивного решения жесткого стыковочного узла дощатоклееной арки с использованием вклеенных стержней приведен на рисунке 3.14.

Арки не рекомендуется использовать, если конструкция подвержена действию больших сосредоточенных нагрузок.



МД 1, МД 2, МД 3 и МД 4 – металлические закладные детали в деревянных элементах арки
 с наклонно вклеенными к волокнам древесины стальными арматурными стержнями (4);
 1 и 2 – деревянные элементы арки; 3 – стальные арматурные стержни, вклеенные
 перпендикулярно волокнам древесины; 5 – верхняя соединительная стальная пластина;
 6 – нижняя соединительная стальная пластина
 а) – общая схема узла стыка элементов арки; б) – схема соединения закладных
 деталей МД 1 и МД 2; в) – схема деталей МД 1 и МД 2 с арматурными стержнями;
 г) – расчетная схема узла стыка

Рисунок 3.14 – Схема жесткого стыковочного узла дощатоклееной арки, выполненного с использованием вклеенных стержней

Геометрическую ось высоких (стрельчатых) трехшарнирных арок (рисунок 3.15) определяют из условий обеспечения заданного внутреннего габарита помещения; при этом стрелу выгиба f_0 полуарок принимают не менее $1/15$ длины хорды l_0 полуарки (расстояние между опорным и коньковым шарнирами).

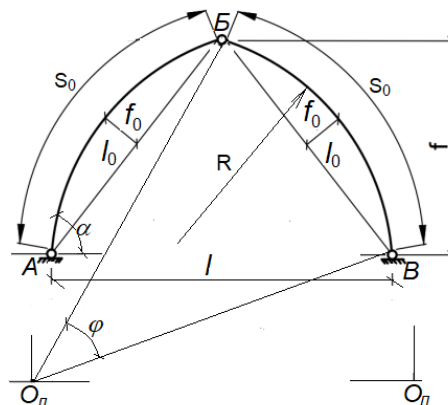


Рисунок 3.15 – Геометрическая схема стрельчатой арки

Длину хорды l_0 стрельчатой арки при пролете l и стреле подъема арки f (рисунок 3.15) определяют из выражения

$$l_0 = \sqrt{f^2 + 0,5 \cdot l^2} , \quad (3.1)$$

где l_0 – длина хорды арки;

f – стрела подъема арки;

l – пролет арки.

Стрелу выгиба f_0 полуарки определяют из выражения

$$f_0 = \frac{l_0}{15} , \quad (3.2)$$

Длину дуги полуарки S_0 определяют

$$S_0 = \sqrt{l_0^2 + \frac{16 \cdot f_0^2}{3}} . \quad (3.3)$$

При определении радиуса R кривизны полуарки используют выражение

$$R = \frac{l_0^2}{8 \cdot f_0} - \frac{f_0}{2} . \quad (3.4)$$

При устройстве прогонов по аркам, их шаг b_b определяют из выражения

$$b_b = R_b \cdot \sin \frac{\varphi}{n_b} , \quad (3.5)$$

где n_b – количество шагов прогонов с одной стороны ската;

φ – центральный угол дуги полуарки;

R_b – радиус окружности, очерченной по верхним граням настила кровли, определяемый по формуле (3.6).

$$R_b = R + \frac{h}{2} + h_b + \delta_l , \quad (3.6)$$

здесь R – радиус дуги арки (рисунок 3.15);

h – высота поперечного сечения арки, принимаемая равной $(1/35 \div 1/40)l$;

h_b – высота поперечного сечения прогона, принимаемая равной $(1/15 \div 1/20)$

от длины шага b арок;

δ_l – толщина досок настила или высота сечения профнастила, принимаемая в интервале от 30 мм до 40 мм.

Геометрические параметры оси (рисунок 3.1) пологих (кругового или параболического очертания) арок определяют из выражений:

– радиус кривизны арки;

$$R = \frac{l^2 + 4f^2}{8f} , \quad (3.7)$$

– центральный угол α дуги полуарки кругового очертания;

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{l}{2 \cdot R} \right) , \quad (3.8)$$

– центральный угол α дуги полуарки параболического очертания;

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{2 \cdot f}{l} \right), \quad (3.9)$$

– длину дуги S арки кругового или параболического очертания;

$$S = \frac{\pi \cdot R \cdot 2\alpha}{180}, \quad (3.10)$$

где l – пролет арки;

f – стрела подъема арки.

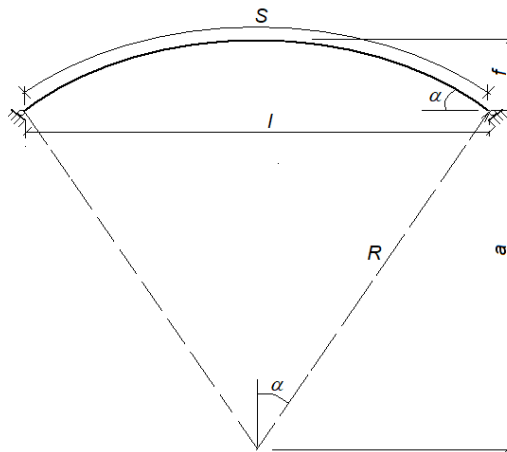


Рисунок 3.16 – Геометрические параметры пологой арки

При предварительном определении размеров пологих арок сплошного сечения руководствуются следующими правилами:

– для арок пролетами $l = 30 \div 100$ м, высота поперечного сечения $h = l/50 \div l/30$, а стрела подъема $f \geq l/10$;

– для арок с переменной высотой поперечного сечения и пролетами $l = 30 \div 100$ м, высота поперечного сечения $h_{\max} = l/40 \div l/30$, а стрела подъема $f \geq l/10$, где h_{\max} – максимальная высота поперечного сечения;

– для решетчатых (полуарки из ферм) арок пролетами $l = 30 \div 120$ м, высота ферм $h = l/40 \div l/20$, а стрела подъема $f \geq l/8$.

Определение внутренних усилий в элементах арок выполняют по правилам строительной механики или с использованием программных вычислительных комплексов.

При проведении статических расчетов арок для предельных состояний несущей способности руководствуются правилами, установленными в п 5.3.11 [1].

Расчет арок сводится к проверкам предельных состояний несущей способности и предельных состояний эксплуатационной пригодности.

Проверки предельных состояний несущей способности арок выполняют для постоянных и переходных расчетных ситуаций при следующих комбинациях нагружения:

а) для пологих арок

– расчетная равномерно распределенная постоянная g нагрузка на всем пролете арки и переменная (снеговая) q нагрузка на всем пролете арки или на части

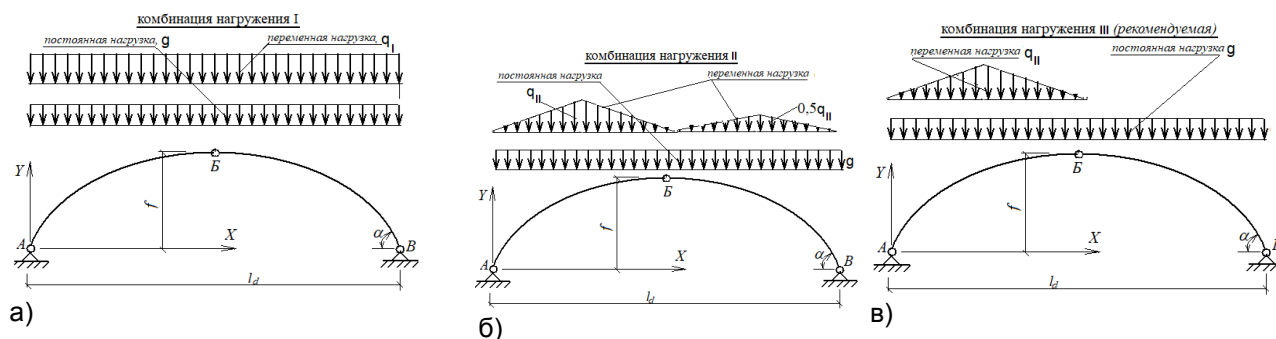
его в зависимости от угла α , а также переменные нагрузки от подвесного оборудования (комбинация нагружения I, рисунок 3.17,а);

- расчетная равномерно распределенная постоянная g нагрузка на всем пролете арки и расчетная переменная (снеговая) q нагрузка, распределенная по треугольникам с разными значениями на каждой половине пролета или части его в зависимости от величины угла α , а также переменные нагрузки от подвесного оборудования (комбинация нагружения II, рисунок 3.17,б);

- расчетная равномерно распределенная постоянная g нагрузка на всем пролете арки и расчетная переменная (снеговая) q нагрузка, распределенная по треугольнику на половине пролета или части его в зависимости от величины угла α (рекомендуемое нагружение), а также переменные нагрузки от подвесного оборудования (комбинация нагружения III, рисунок 3.17,в);

- нагрузка от давления ветра в комбинации с постоянными и переменными нагрузками.

Примечание: в покрытиях с фонарями или при наличии соседних пролетов строительного сооружения распределение снеговой нагрузки принимается с учетом требований [4].



- а) комбинация нагрузок I (постоянная g + переменная q снеговая нагрузки);
- б) комбинация нагрузок II (постоянная g нагрузка + переменная q снеговая нагрузка, распределенная по треугольникам); в) рекомендуемая комбинация нагрузок III (постоянная g нагрузка + переменная q снеговая нагрузка, распределенная по треугольнику на половине пролета)

Рисунок 3.17 – Схемы нагружения пологих арок

б) для высоких (стрельчатых) арок:

- расчетная равномерно распределенная постоянная g нагрузка на всем пролете арки и переменная (снеговая) q нагрузка на всем пролете арки или части его, а также переменные нагрузки от подвесного оборудования (комбинация нагружения I, рисунок 3.18,а);

- расчетная постоянная g нагрузка на всем пролете арки, переменная (снеговая) q нагрузка, распределенная по треугольникам, с разными значениями на каждой половине пролета или части его, а также переменные нагрузки от подвесного оборудования (комбинация нагружения II, рисунок 3.18,б);

- расчетная постоянная g нагрузка на всем пролете арки, переменная (снеговая) q нагрузка, распределенная по треугольнику на половине пролета или

части его, а также переменные нагрузки от подвешенного оборудования (рекомендуемая комбинация нагружения III, рисунок 3.18,в);

– ветровая нагрузка в комбинации с постоянными и переменными нагрузками. Данную комбинацию нагружения выполняют в соответствии с [5, 18, 19].

Примечания:

1. Сочетание нагрузок выполняют в соответствии с требованиями [2].
2. Схемы приложения ветровой нагрузки к арке, а также ее значения определяются в соответствии с требованиями и рекомендациями [5, 18].
3. Значения переменной нагрузки от подвешенного оборудования и места ее приложения принимаются в соответствии с заданием на проектирование.

Расчет предельных состояний несущей способности арок включает в себя:

– проверку устойчивости положения арки или любой ее части (потеря статического равновесия), выполняют согласно правилам, установленным в [2];

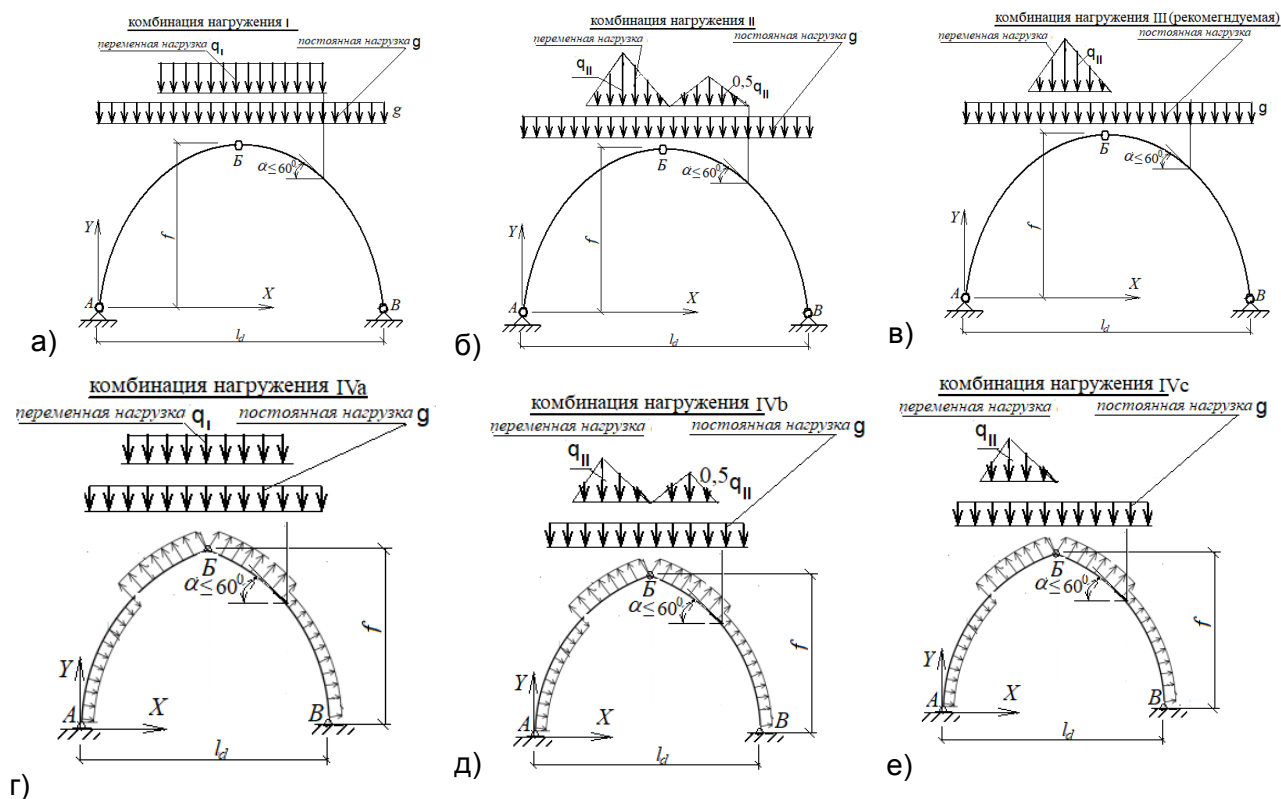
– проверку устойчивости плоской формы деформирования арки (проверка устойчивости из плоскости кривизны), как сжато-изгибаемого элемента в соответствии с правилами раздела 7.5 [1];

– проверку устойчивости арки в плоскости ее кривизны, как сжато-изгибаемого элемента в соответствии с правилами раздела 7.5 [1];

– проверку сопротивления опорных площадок арок при сжатии древесины вдоль или под углом к волокнам, сопротивления сечений сдвигу вдоль волокон в опорных и коньковых узлах. Данную проверку выполняют в соответствии с правилами, установленными в п. 7.2.1, 7.3.3 и 7.6.2 [1];

– проверку прочности древесины в сечениях криволинейных участков от действия радиальных растягивающих поперек волокон напряжений, обусловленных действием положительных изгибающих моментов.

Расчетным сечением арки для каждого сочетания нагрузок является сечение с наибольшим изгибающим моментом, для которого определяется расчетное значение напряжений. Положение расчетного сечения определяют аналитически или по эпюре изгибающих моментов для всей арки, а проверка нормальных напряжений от сжатия с изгибом производится в соответствии с правилами раздела 7.5 [1].



- а) комбинация нагрузок I (постоянная + переменная снеговая нагрузка);
 б) комбинация нагрузок II (постоянная + переменная снеговая нагрузка, распределенная по треугольникам); в) рекомендуемая комбинация нагрузок III (постоянная + переменная снеговая нагрузка, распределенная по треугольникам на половине пролета);
 г) комбинация нагрузок IVa (постоянная + переменная снеговая нагрузка + ветровая нагрузка справа); д) комбинация нагрузок IVb (постоянная + переменная снеговая нагрузка, распределенная по треугольникам + ветровая нагрузка справа);
 е) комбинация нагрузок IVc (постоянная + переменная снеговая нагрузка, распределенная по треугольникам на половине пролета) + ветровая справа)

Рисунок 3.18 – Схемы нагружения высоких (стрельчатых) арок

Внутренние усилия в произвольном поперечном сечении арки зависят от угла α между касательной и горизонталью.

Аналитически нормальную N и поперечную V силы в поперечном сечении арки (рисунок 3.19) определяют по формулам

$$N = H \cdot \cos \alpha + V_b \cdot \sin \alpha, \quad (3.11)$$

$$V = -H \cdot \sin \alpha + V_b \cdot \cos \alpha, \quad (3.12)$$

где H – горизонтальная составляющая в опорном узле арки (распор);

V_b – поперечная сила в сечении шарнирно опертой балки пролетом, равным пролету арки при действии вертикальной нагрузки.

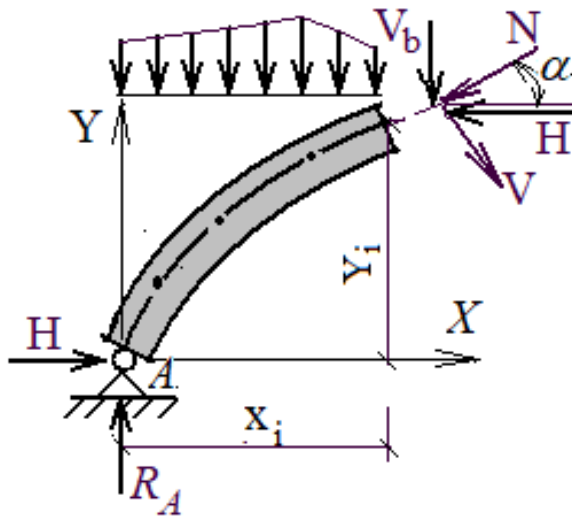


Рисунок 3.19 – Схема определения внутренних усилий в произвольном сечении арки

Координаты i -ой точки y_i на оси арок кругового и параболического очертаний (рисунок 3.19) при $f/l \approx 1/6$ допускается определять по формуле

$$y_i = \frac{4 \cdot f}{l} \cdot \left(x_i - \frac{x_i^2}{l} \right), \quad (3.13)$$

где x_i – координата i -ой точки на нейтральной оси арки по направлению оси X от левой опоры арки;

y_i – координата i -ой точки на нейтральной оси арки по направлению оси Y.

В трехшарнирной арке, нагруженной по схеме, приведенной на рисунке 3.17,а, опорные реакции и внутренние усилия рассчитывают по формулам:

– величина вертикальной опорной реакции

$$R_A = R_B = \frac{(q_l + g) \cdot l}{2}; \quad (3.14)$$

– величина распора

$$H = \frac{(q_l + g) \cdot l^2}{8 \cdot f}; \quad (3.15)$$

– поперечная сила в опорном сечении ($x = 0$)

$$V_{x0} = -\frac{(q_l + g) \cdot l^2}{8 \cdot f} \cdot \sin \alpha_{x0} + \frac{(q_l + g) \cdot l}{2} \cdot \cos \alpha_{x0}. \quad (3.16)$$

Поперечная сила в коньке равняется нулю.

При проверке сопротивления опорных площадок сжатию древесины под углом α к волокнам и сдвигу вдоль волокон в сечениях опорных и коньковых узлов должны соблюдаться условия

$$N_{c,E,di} \leq N_{c,\alpha,R,di}, \quad (3.17)$$

$$V_{E,di} \leq V_{R,di}, \quad (3.18)$$

где $N_{c,E,di}$ – расчетное значение сжимающего усилия, действующего в опорном или коньковом узле арки, обусловленного внешними воздействиями для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

$N_{c,\alpha,R,di}$ – расчетное значение сопротивления опорной площадки при сжатии древесины под углом α к волокнам, определяемое по формуле (3.19);

$V_{E,di}$ – расчетное значение сдвигающего усилия в сечении опорного или конькового узла полуарки, обусловленного внешними воздействиями для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

$V_{R,di}$ – расчетное значение сопротивления сдвигу в сечении опорного или конькового узла полуарки; определяют по формуле (3.23).

$$N_{c,\alpha,R,d} = A_d \cdot f_{c,\alpha,d}, \quad (3.19)$$

где A_d – расчетное значение площади опорной площадки торца полуарки в опорном или коньковом узле;

$f_{c,\alpha,di}$ – расчетное значение прочности древесины при сжатии древесины под углом α к волокнам для i -ой комбинации (сочетания) нагружения; определяют по формуле (3.20).

$$f_{c,\alpha,di} = \frac{f_{c,0,di}}{\frac{f_{c,0,di}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,di}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (3.20)$$

здесь $f_{c,0,di}$ – расчетное значение прочности древесины арки при сжатии вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемое по формуле (3.21);

$f_{c,90,d}$ – расчетное значение прочности древесины арки при сжатии поперек волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемое по формуле (3.22);

α – угол между направлением усилия и волокнами древесины;

$k_{c,90}$ – коэффициент, учитывающий поддерживающее влияние слоев, находящихся вблизи граней опорной площадки, на прочность древесины при сжатии поперек волокон и принимаемый равным: для клееной древесины 1,75, а для пиломатериалов – 1,5.

$$f_{c,0,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot f_{c,0,k} \cdot k_{sys}}{\gamma_M}, \quad (3.21)$$

$$f_{c,90,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M}, \quad (3.22)$$

здесь $f_{c,0,k}$ – характеристическое значение прочности соответствующего материала арки при сжатии вдоль волокон древесины, принимаемое соответственно из таблиц Б.1 – Б.4 приложения Б [20];

$f_{c,90,k}$ – характеристическое значение прочности соответствующего материала арки при сжатии поперек волокон, принимаемое соответственно из таблиц Б.1 – Б.4 приложения Б [20];

$k_{mod,i}$ – коэффициент модификации; принимают по таблице А.2 приложения А [20];

k_{sys} – коэффициент, учитывающий перераспределение усилий (напряжений) между элементами;

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице А.1 приложения А [20].

Расчетное значение сопротивления сдвигу $V_{R,di}$ в сечении опорного или конькового узлов арок для i -ой комбинации (сочетания) нагружения следует определять по формуле

$$V_{R,di} = \frac{I_{br} \cdot b_{ef} \cdot f_{v,di}}{S_{br}}, \quad (3.23)$$

где I_{br} – момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси;

b_{ef} – расчетное значение ширины поперечного сечения в опорном или коньковом узле полуарки, определяют по формуле (3.24);

$f_{v,di}$ – расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяют по формуле (3.25);

S_{br} – статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения арки относительно нейтральной оси.

Расчетное значение ширины поперечного сечения b_{ef} в зоне опорного или конькового узла арки определяют по формуле

$$b_{ef} = b \cdot k_{cr}, \quad (3.24)$$

где b – ширина поперечного сечения полуарки;

k_{cr} – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления сечения сдвигу из-за возможного образования поверхностных трещин в опорных сечениях арок, принимают равным 0,67 для арок из клееной древесины и 1,0 для арок из других материалов на основе древесины.

Расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании) вдоль волокон $f_{v,di}$ для i -ой комбинации (сочетания) нагружения определяют по формуле

$$f_{v,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (3.25)$$

где $k_{mod,i}$ – коэффициент модификации для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, принимаемый по таблице А.2 приложения А [20];

$f_{v,k}$ – характеристическое значение прочности древесины при сдвиге вдоль волокон или материала на ее основе, принимают по таблицам по таблицам Б.1 – Б.4 приложения Б [20];

γ_M – частный коэффициент свойств материала или изделий; принимают по таблице А.1 приложения А [20].

При проверке прочности древесины от действия растягивающих поперек волокон радиальных $\sigma_{t,90,di}$ напряжений, возникающих в сечениях криволинейных участков арок от действия положительных изгибающих моментов, должно выполняться условие

$$\frac{\sigma_{t,90,di}}{k_{dis} \cdot k_{vol,i} \cdot f_{t,90,di}} \leq 1, \quad (3.26)$$

где $\sigma_{t,90,di}$ – расчетное значение радиального напряжения, растягивающего древесину поперек волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяют по формуле (3.27);

$f_{t,90,di}$ – расчетное значение прочности клееной древесины арки при растяжении поперек волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяют по формуле (3.31);

k_{dis} – коэффициент, учитывающий распределение напряжений в зоне действия изгибающего момента на криволинейном участке, который для гнутоклееных арок равен 1,4;

$k_{vol,i}$ – коэффициент, учитывающий отношение базового V_0 объема древесины к $V_{arch,i}$ объему древесины арки на криволинейном участке длиной $l_{curve,i}$, где имеет место действия положительного изгибающего M_{Ed} момента, вызывающего растяжение древесины поперек волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемый по формуле (3.29).

Расчетное значение радиального $\sigma_{t,90,di}$ напряжения, растягивающего древесину поперек волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяют по формуле

$$\sigma_{t,90,di} = k_{curve,t} \cdot \frac{6 \cdot M_{E,di,max}}{b \cdot h^2}, \quad (3.27)$$

где $k_{curve,t}$ – коэффициент, определяемый по формуле (3.28);

$M_{E,di,max}$ – максимальное значение изгибающего момента на участке арки длиной $l_{curve,i}$ для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

b – ширина поперечного сечения арки;

h – высота поперечного сечения арки.

$$k_{curve,t} = \frac{h}{4 \cdot (R + 0,5 \cdot h)}, \quad (3.28)$$

здесь R – радиус дуги арки на участке длиной $l_{curve,i}$;

h – высота поперечного сечения арки на участке длиной $l_{curve,i}$.

$$k_{vol,i} = \left(\frac{V_0}{V_{arch,i}} \right)^{0,2}, \quad (3.29)$$

здесь V_0 – базовый объем древесины, принимаемый равным 0,01 м³;

$V_{arch,i}$ – объем древесины арки на криволинейном участке длиной $l_{curve,i}$ (рисунок 3.20), где имеет место действия положительного изгибающего $M_{E,d}$ момента для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, вызывающего растяжение древесины поперек волокон, определяемый по формуле (3.30).

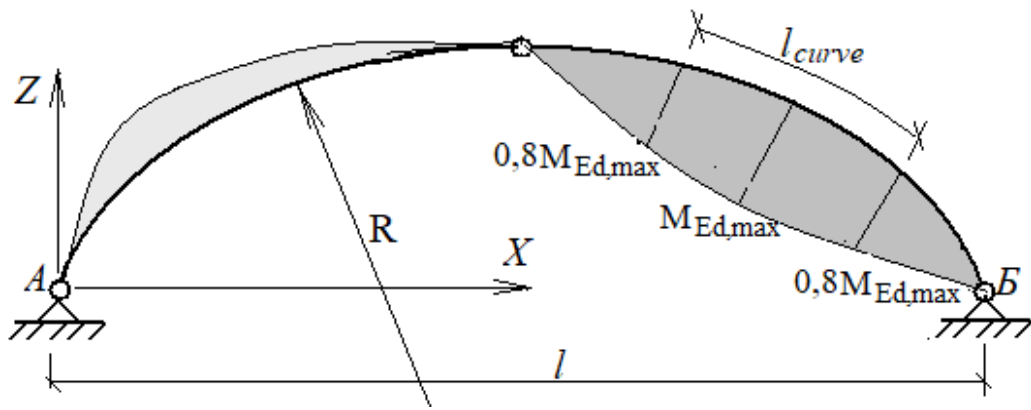


Рисунок 3.20 – Схема определения расчетной длины криволинейного участка арки, где имеет место действия $\sigma_{t,90,d}$ напряжений

$$V_{arch,i} = A \cdot l_{curve,i} \quad (3.30)$$

здесь A – площадь поперечного сечения арки на участке длиной l_{curve} .

Расчетное значение прочности древесины арки при растяжении поперек волокон; определяют по формуле

$$f_{t,90,di} = \frac{k_{mod,i} \cdot k_{sys} \cdot f_{t,90,k}}{\gamma_M} \quad (3.31)$$

Проверку устойчивости арки в плоскости ее изгиба выполняют, как сжато-изгибаемого элемента для всех схем нагружения (рисунок 3.17 и 3.18).

Для симметричной схемы нагружения арки в сечении с наибольшим расчетным значением изгибающего $M_{E,di,y}$ момента определяют расчетные значения нормальных $\sigma_{c,0,di}$ и изгибающих $\sigma_{m,y,di}$ напряжений по формулам

$$\sigma_{c,0,di} = \frac{N_{E,di}}{A} \quad (3.32)$$

$$\sigma_{m,y,di} = \frac{M_{E,di,y,max}}{I_y} \cdot \frac{h}{2} \quad (3.33)$$

где $N_{E,di}$ – расчетное значение сжимающего усилия в сечении, где имеет место действие в плоскости арки максимального изгибающего момента $M_{E,di,y,max}$ для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

A – площадь поперечного сечения арки;

I_y – момент инерции поперечного сечения относительно оси y ;

h – высота поперечного сечения арки.

Проверку устойчивости арки в ее плоскости, т. е. изгиба относительно оси y , выполняют по формуле (3.37), если значение приведенной гибкости $\lambda_{rel,y} > 0,3$, которое определяют по формуле (3.34).

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (3.34)$$

где λ_y – гибкость арки относительно оси y , определяемая по формуле (3.35);

$E_{0,05}$ – 5 %-ный квантиль модуля упругости древесины арки принимают по таблицам Б.1– Б.3 приложения Б [20].

Для прямоугольного сечения арки величину гибкости λ_y определяют по формуле

$$\lambda_y = \frac{l_{d,0,y}}{\frac{h}{\sqrt{12}}}, \quad (3.35)$$

где $l_{d,0,y}$ – расчетная длина полуарки, ориентировочно определяемая по формуле (3.36).

$$l_{d,0,y} = 1,25 \cdot \frac{S}{2}, \quad (3.36)$$

здесь S – длина дуги арки.

Устойчивость арки в плоскости ее изгиба при $\lambda_{rel,y} > 0,3$ обеспечена, если выполняется условие

$$\frac{\sigma_{c,0,di}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,di}} + \frac{\sigma_{m,y,di} \cdot k_l}{f_{m,y,di}} \leq 1, \quad (3.37)$$

где $\sigma_{c,0,di}$ – расчетное значение нормальных напряжений для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемое по формуле (3.32);

$\sigma_{m,y,di}$ – расчетное значение напряжений изгиба для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определенное по формуле (3.33);

$f_{c,0,di}$ – прочность древесины арки при сжатии вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемая по формуле (3.21);

$f_{m,y,di}$ – расчетное значение прочности древесины арки при изгибе для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемая согласно [1];

$k_{c,y}$ – коэффициент продольного изгиба, значение которого определяют по формуле (3.38);

k_l – коэффициент, учитывающий характер распределение нормальных напряжений от изгиба на кромках элемента, имеющего криволинейную форму, значение которого определяют по формуле (3.40).

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \quad (3.38)$$

где k_y – коэффициент, значение которого определяют по формуле (2.50) настоящих строительных правил.

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2], \quad (3.39)$$

здесь β_c – коэффициент, значение которого, согласно п. (7.2.2) [1], принимают:

- для элементов из цельной древесины – 0,2;
- для элементов из клееной древесины и LVL – 0,1.

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot \frac{h}{R} + 0,6 \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2, \quad (3.40)$$

где R – радиус дуги арки.

Для несимметричной схемы нагружения арки расчетным является сечение с максимальным расчетным значением изгибающего $M_{E,di,y}$ момента. Расчет выполняют с использованием программных комплексов или правил строительной механики.

Проверку устойчивости арки из ее плоскости (потеря устойчивости плоской формы деформирования), выполняют как сжато-изгибаемого элемента для наиболее нагруженных сечений, в соответствии с разделом 7.5 [1], исходя из значений $\lambda_{rel,y}$, $\lambda_{rel,z}$ и $\lambda_{rel,m}$.

Устойчивость плоской формы деформирования арки (устойчивость из плоскости) зависит от схем закрепления в направлении перпендикулярном ее плоскости и расстояния $l_{0,z}$ (длины участка) между точками закрепления.

Расчетные значения нормальных и изгибающих напряжений определяют в сечении арки с максимальным расчетным значением изгибающего $M_{E,di}$ и продольной $N_{E,di}$ силы, используя формулы (3.32) и (3.33).

Для проверки устойчивости плоской формы деформирования арки (устойчивости из плоскости) предварительно определяют:

– величину критического $\sigma_{crit,z}$ напряжения

$$\sigma_{crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05} \cdot I_z}{A \cdot l_{0,z}^2}, \quad (3.41)$$

где I_z – момент инерции поперечного сечения относительно оси z;

– величину приведенной гибкости

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,z}}}; \quad (3.42)$$

– величину коэффициента продольного изгиба $k_{c,z}$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \quad (3.43)$$

где k_z – коэффициент, определяемый по формуле (3.44)

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2], \quad (3.44)$$

здесь β_c – коэффициент, значение которого принимают: для элементов из цельной древесины – 0,2, а для элементов из клееной древесины и LVL – 0,1.

– величину критического напряжения от изгиба относительно оси z и действия постоянного момента M_y на участке $l_{0,z}$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef,z} \cdot I_y \cdot \frac{2}{h}}, \quad (3.45)$$

где I_y и I_z – моменты инерции поперечного сечения относительно оси y и оси z;

$E_{0,05}$ – 5 %-ный квантиль модуля упругости древесины вдоль волокон для цельной или клееной древесины, принимают соответственно из таблиц Б.1 – Б.4 приложения Б [20];

$G_{0,05}$ – 5 %-ный квантиль модуля сдвига древесины вдоль волокон для цельной или клееной древесины, принимают из таблиц Б.1 – Б.4 приложения Б [20];

$l_{ef,z}$ – расчетная (эффективная) длина участка устанавливается с учетом требований п. 7.3.8 [1];

I_{tor} – момент инерции прямоугольного сплошного поперечного сечения арки при кручении, определяемый по формуле

$$I_{tor} = k \cdot h \cdot b^3, \quad (3.46)$$

здесь k – коэффициент, принимаемый из таблицы 2.1;

h – высота поперечного сечения арки;

b – ширина поперечного сечения арки.

Таблица 3.1 – Значения коэффициента k для расчета прямоугольных сечений на кручение

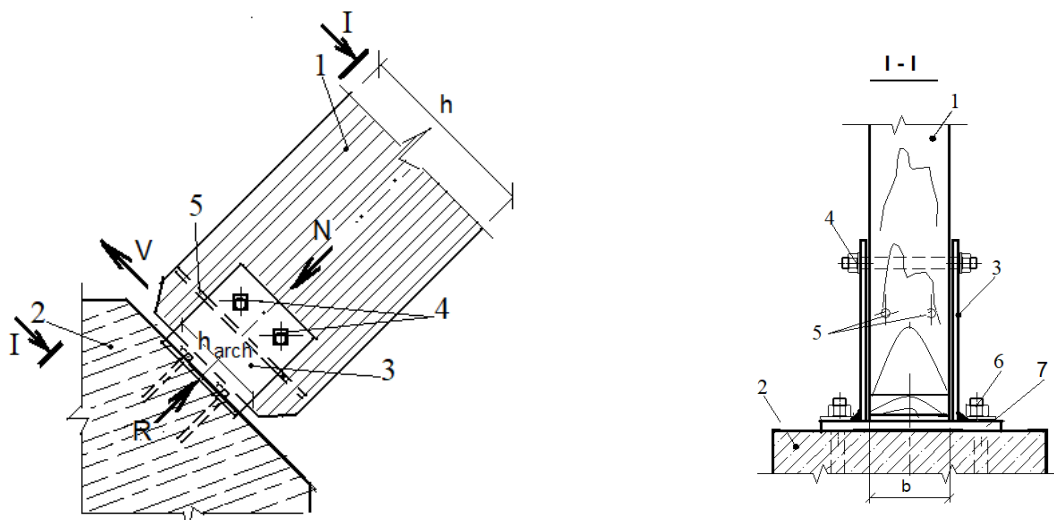
h/b	1,0	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0	∞
k	0,208	0,231	0,239	0,246	0,258	0,267	0,282	0,299	0,307	0,313	1/3

– значение коэффициента k_{crit} в зависимости от величины $\lambda_{rel,m}$, используя формулу (7.34) [1];

– для корректировки расчетных значений изгибающих $\sigma_{m,y,di}$ напряжений, возникающих на кромках арки (криволинейного участка) в расчетном сечении, определяют значение коэффициента k_l по формуле (3.40).

Рекомендации по конструированию и расчету узлов арок

При пролетах арок менее 24 м опорные узлы выполняют, как правило, в виде лобовых упоров с использованием металлических башмаков, изготовленных из стальных профилей или стальных листов, соединенных между собой с помощью электросварки (рисунок 3.21).



- 1 – дощатоклееная арка; 2 – фундамент; 3 – стальные боковые пластины;
 4 – стяжные шпильки (глухарь); 5 – вклеенные или ввинченные стержни;
 6 – анкерные болты; 7 – опорная плита

Рисунок 3.21 – Схема узла опирания арки непосредственным лобовым упором на железобетонную опору

Опорные башмаки данных арок состоят из опорной плиты 7 с отверстиями для анкерных болтов 6 и двух вертикальных 3 пластин (фасонок) с отверстиями в которые усаиваются болты крепления башмака к полуарке 1. Торцы полуарок

упираются лобовым упором в опорную плиту. Расстояние между боковыми пластинами 3 башмака принимают равным ширине сечения полуарки. Для уменьшения сдвигающих усилий в анкерных болтах опорный башмак устанавливается на наклонную поверхность фундамента, параллельную опорному сечению полуарок.

Величину опорной площадки ($h_{\text{arch}} \times b$) в узле арки (рисунок 3.21) определяют исходя из условия обеспечения прочности древесины при сжатии вдоль или под углом α к волокнам при действии сжимающего N усилия. Усилие V сдвига (поперечная сила) воспринимается анкерными болтами 6 (рисунок 3.21) фундамента 2 или сварными швами, если боковые пластины 3 соединяют с помощью сварки с закладной деталями фундамента.

Количество нагелей (болтов) 4, соединяющих арку с боковыми пластинами 3 определяют расчетом в зависимости от величины сдвигающего усилия V , как для двухсрезных нагельных соединений в соответствии с правилами, установленными в разделе 9 [1].

Для предотвращения возможного появления продольных трещин в древесине арок опорных зон при изменении температурно-влажностных условий в процессе эксплуатации, конструктивно устанавливают клеенные или ввинченные стержни 5 (рисунок 3.21). Стержни 5 располагают симметрично по ширине поперечного сечения арки. Расстановку стержней выполняют в соответствии с правилами, установленными в разделе 9.4 и 9.6 [1].

В сечениях арок, в которых возникают изгибающие моменты разного знака, а поперечные силы незначительны по своей величине (арки стрельчатого и сегментного очертаний), опорные узлы следует центрировать по осям полуарок и перпендикулярным расположением опорной плиты башмака.

Узлы треугольных арок, в сечениях которых действуют в основном положительные изгибающие моменты и значительные поперечные силы, центрируются по осям, расположенным с эксцентриситетом относительно оси полуарок, а опорный лист башмака располагается перпендикулярно равнодействующей вертикальной V и горизонтальной N опорных реакций или продольной и поперечной силам в узле (рисунок 3.22).

При пролетах арок 24 м и более опорные узлы проектируют в виде классических шарниров (рисунок 3.5) с использованием стальных башмаков или клеенных стержней, соединенных со стальными пластинами башмаков.

Для предотвращения древесины арок от конденсационного увлажнения стальные поверхности башмаков отделяются от древесины слоем гидроизоляции, нанесенной на контактирующую с башмаком поверхность древесины.

При проектировании опорного и коньковых узлов арки должны быть выполнены проверки предельных состояний несущей способности их конструктивных элементов включающие:

– проверку сопротивления опорной площадки полуарки сжатию древесины под углом α к волокнам древесины (рисунок 3.22);

$$N_{R,d} \geq N_{\max,c,\alpha,d}, \quad (3.46)$$

где $N_{\max,c,\alpha,d}$ – максимальное расчетное значение равнодействующей опорных усилий, вызывающей сжатие древесины полуарки под углом α к волокнам, определяемое:

а) для сегментных и стрельчатых арок, когда поверхность опорной площадки перпендикулярна направлению волокон древесины элемента (полуарки)

$$N_{\max,c,\alpha,d} = N_{\max,c,0,d}, \quad (3.47)$$

здесь $N_{\max,c,0,d}$ – максимальное расчетное значение продольной силы N , действующей вдоль волокон;

б) для треугольных арок, когда поверхность опорной площадки наклонена под углом α к направлению волокон древесины элемента (полуарки)

$$N_{\max,c,\alpha,d} = \sqrt{N_{\max}^2 + V_{\max}^2}, \quad (3.48)$$

здесь N_{\max} и V_{\max} – максимальные расчетные значения опорных усилий, действующие в узле (рисунок 3.22);

α – угол наклона равнодействующей $N_{\max,c,\alpha,d}$ определяют из выражения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V_{\max}}{N_{\max}}; \quad (3.49)$$

– проверку количества нагелей (болтов), соединяющих арку с боковыми пластинами выполняют как для двухсрезного нагельного соединения от действия сдвигающего усилия V , в соответствии с правилами раздела 9 [1];

– проверку металлических деталей башмаков арки и их соединений выполняют на действие V_{\max} и N_{\max} в соответствии с правилами [21] и рекомендациями [19];

– проверку сопротивления опорной площадки фундамента локальному сжатию бетона сжатию от действия N_{\max} выполняют в соответствии с правилами [22].

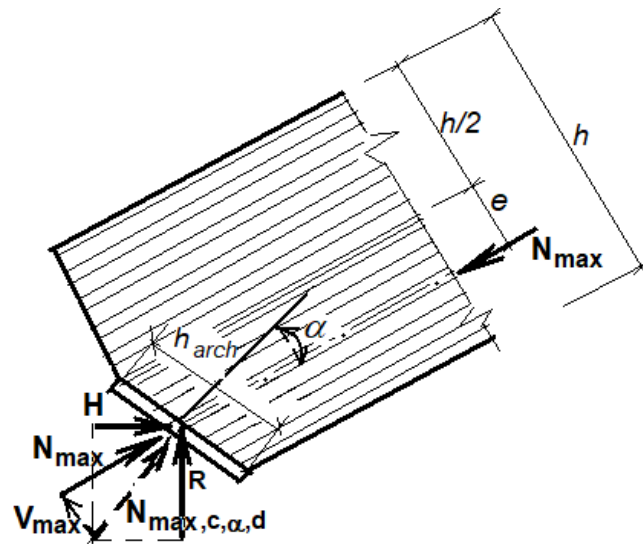


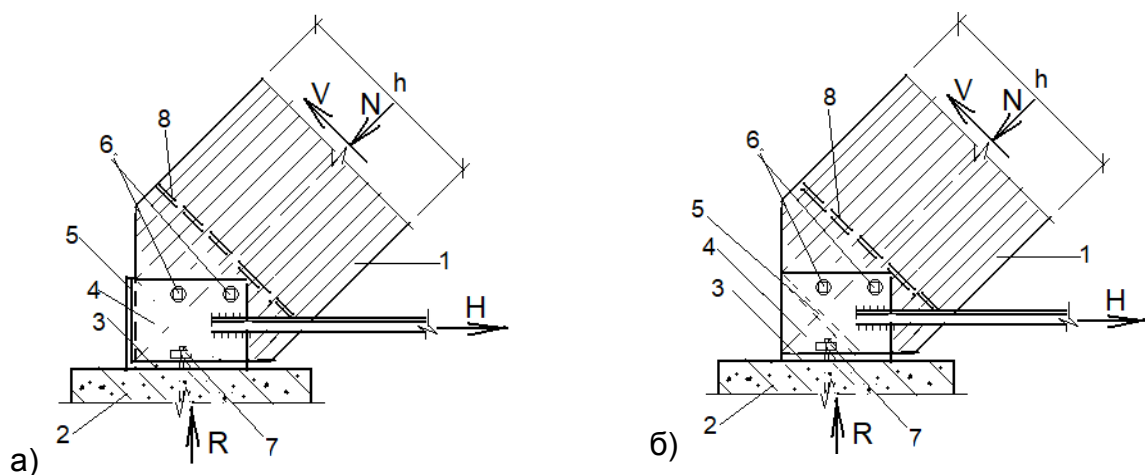
Рисунок 3.22 – Общая схема усилий, возникающих в опорном узле арки

Конструктивное решение конькового узла арки, как и опорного, зависит от величины перекрываемого пролета, очертания арки, условий ее эксплуатации и нагрузок, действующих на арку.

При пролетах арок до 18 м коньковые узлы проектируют с использованием лобового упора торцов полуарок и боковых деревянных или стальных накладок, прикрепленных посредством механических связей к полуаркам (рисунок 3.10).

В арках пролетами 18 м и более, как правило, коньковые узлы проектируют с использованием стальных башмаков (рисунок 3.11 и 3.12).

Опорные узлы арок с затяжками (рисунок 3.23) выполняют, как правило, с использованием лобового упора и сварных металлических башмаков, отличающихся по своей конструкции от башмаков, используемых в опорных узлах арок без затяжек.



1 – арка; 2 – опора (колонна, стена и т. п.); 3 – горизонтальная опорная пластина; 4 – боковые пластины (фасонки); 5 – упорная пластина (диафрагма); 6 – болты; 7 – анкерные болты; 8 – клеенные или ввинченные стержни; а) узел с раздельным восприятием распора и опорной реакции элементами башмака; б) узел с лобовой передачей усилия сжатия

Рисунок 3.23 – Схема опорного узла арки с затяжкой

В арках с затяжками опорная пластина башмака располагается горизонтально. Полуарка в опорном узле устанавливается своей горизонтальной поверхностью на опорную пластину. Горизонтальная пластина опорного башмака может располагаться между фасонками или же фасонки могут опираться на опорную пластину. Элементы затяжки крепятся к боковым пластинам (фасонкам), между которыми располагается упорная плита (диафрагма.) Наклон диафрагмы и центрирование узла производится аналогично, что и в узлах арок без затяжек. Если затяжка выполнена из древесины, ее располагают между фасонками и крепят с помощью болтов.

В некоторых конструктивных решениях опорных узлов арок с затяжками боковые фасонки соединяют с опорными пластинами, образуя цельный башмак с опорной плитой и упорной пластиной (диафрагмой).

Расчет узлов арок с затяжками аналогичен расчету узлов арок без затяжек с дополнительной проверкой самой затяжки и элементов ее крепления к башмакам (проверка сварных швов крепления затяжки к фасонкам).

3.2 Рамы из древесины и материалов на ее основе

Трехшарнирные рамы – плоские распорные конструкции, в которых действие вертикальных нагрузок вызывает появление вертикальных и горизонтальных реакций в опорах. Горизонтальные составляющие опорных реакций в рамах называют распором, который должен учитываться при проектировании фундаментов или опорных участков элементов зданий.

Использование рам в качестве основных несущих конструкций покрытий зданий, позволяет перекрывать относительно большие пролеты без использования промежуточных опор.

Рамы используют в качестве элементов несущих каркасов таких строительных сооружений, как покрытия ангаров, выставочных павильонов, манежей, зданий многофункционального назначения и т.п. [12, 13, 23, 24].

Проектируют рамы преимущественно из прямолинейных элементов с наличием жестких (рамных) узлов. Жесткие узлы трехшарнирных рам называют карнизными. Данные узлы обеспечивают совместную работу ригеля и стойки. Не рекомендуется выполнять соединения ригеля и стойки под большими углами.

В зависимости от конструктивного решения карнизного узла, величины воздействий и угла наклона ригеля перекрываемые рамами пролеты могут составлять от 12 м до 70 м Шаг расстановки рам принимают от 3 м до 6 м, а угол β наклона верхней грани ригеля рекомендуется принимать от 14° до 18° . При соответствующем обосновании угол β может приниматься более 18° .

Стойки и ригели рам рекомендуется проектировать с переменной высотой h и постоянной шириной b поперечных сечений. Для большинства типов рам основные конструктивные размеры рекомендуется принимать: высоту поперечных сечений в карнизном узле $h_r = (1/20 \div 1/30)$ от длины l пролета; высоту поперечных сечений в коньковом узле – $h_n = (0,2 \div 0,3)h_r$; высоту поперечных сечений в

опорных узлах стоек $h_f = 0,4h_r$. В карнизных узлах рамы отношение высоты поперечного сечения к ширине принимают в пределах $h_r/b = 4 \div 8$. Рекомендованные конструктивные размеры в основном относятся к сплошным трехшарнирным рамам.

Исходя из технологических возможностей изготовления, а также архитектурных требований зданий, рамам могут придаваться различные очертания [1, 12, 13, 23, 24]. При выборе формы рамы необходимо учитывать требуемые габариты и функциональное назначение проектируемого здания, условия эксплуатации, величины воздействий.

Классификация рам

В зависимости от технологии изготовления и применяемых материалов, используемые в современной строительной практике рамы подразделяют на следующие группы:

- дощатоклееные и из клееного шпона (LVL) из прямолинейных элементов;
- дощатоклееные с криволинейными участками в карнизном узле;
- дощато-фанерные.

Рамы из древесины и материалов на ее основе применяют в зданиях различного назначения с утепленными или неутепленными ограждающими конструкциями (плиты, настилы по прогонам из досок или таких плитных материалов как ОСП, ДСП, ЦСП), с рулонными, асбестоцементными или стальными кровлями [13, 23].

Однопролетные трехшарнирные деревянные рамы, в которых ригели и стойки имеют прямоугольные поперечные сечения переменной высоты по длине, бывают следующих типов:

а) дощатоклееные из прямолинейных элементов с соединением ригеля и стойки в карнизном узле с помощью гнутоклееной или трапециевидной вставки на зубчатом шипу (рисунок 3.24, б);

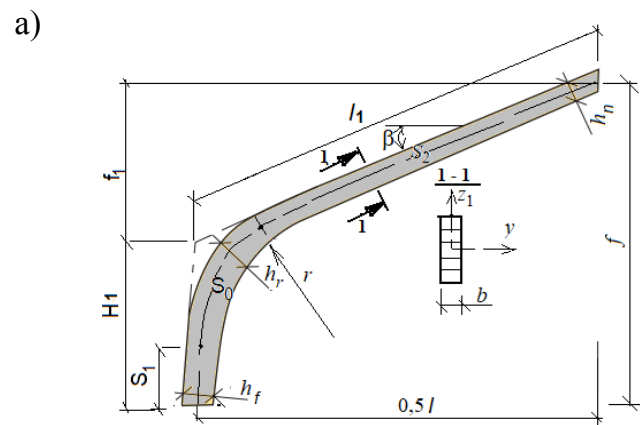
б) гнутые дощатоклееные и дощато-фанерные рамы (рисунок 3.24, а);

в) дощатоклееные и клееного шпона (LVL) из ригелей и подкосов, упирающихся в фундамент, с помощью которых образуется рамный карнизный узел (рисунок 3.24, в);

г) дощатоклееные и из клееного шпона (LVL) с соединением ригеля и стойки в карнизном узле сжатым раскосом и стяжным тягом;

д) дощатоклееные из ригелей и стоек, соединяемых в карнизном узле посредством вклеенных стальных стержней, соединенных со стальными пластинами в растянутой зоне (рисунок 3.24, г).

Рамы типов «а» и «б» собираются из целых полурам заводского изготовления. Рамы типов «в» и «г» поставляются заводами в виде линейных элементов (ригелей, стоек, раскосов и подкосов) и собираются в полурамы или целые рамы на месте строительства. Рамы могут иметь консоли (свесы). При большой длине консоли для них устанавливают подкосы.



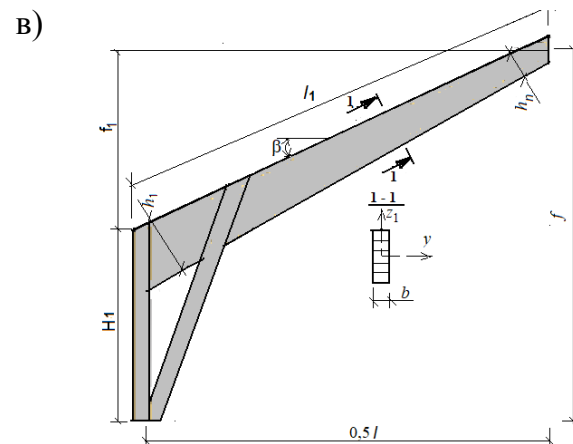
$$h_r = (1/20 \div 1/30)l;$$

$$\beta \geq 14^\circ;$$

$$h_f = 0,4h_r;$$

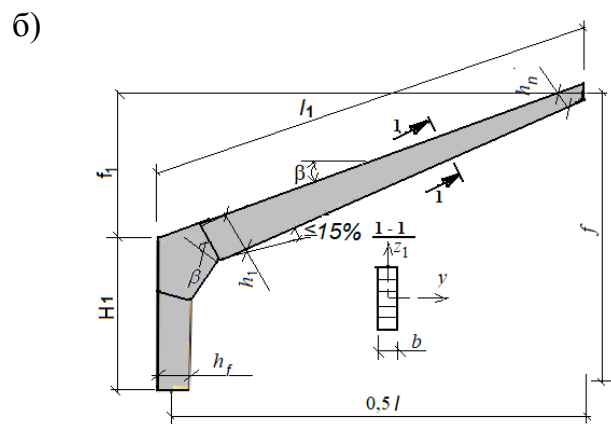
$$h_n = \min \begin{cases} 0,3h_r \\ 250 \text{ мм} \end{cases};$$

$$b/h_r = (4 \div 8)$$



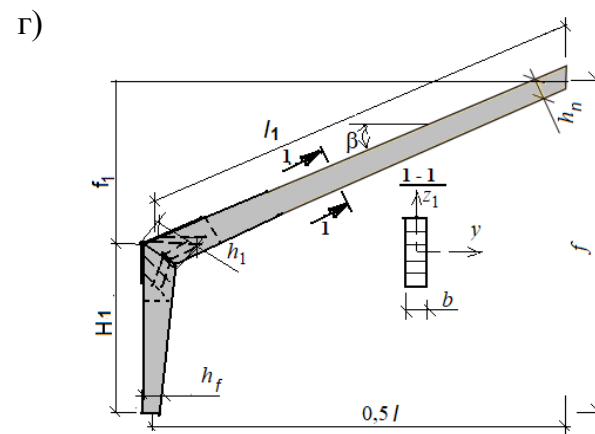
$$h_l = (H_1 + l_1)/15;$$

$$\beta \geq 14^\circ.$$



$$h_l = (1/20 \div 1/30)l;$$

$$\beta \geq 14^\circ.$$



$$h_l = (H_1 + l_1)/14;$$

$$\beta \geq 14^\circ.$$

а) гнутоклееная; б) из прямолинейных элементов с соединением ригеля и стойки в карнизном узле посредством трапециевидной вставки на зубчатом шипу; в) из ригеля, стойки и подкосов, упирающихся в фундамент; г) из прямолинейных элементов с соединением ригеля и стоки в карнизном узле посредством вклеенных стержней и стальных пластин

Рисунок 3.24 – Схемы трехшарнирных деревянных полурам

Рекомендуемые геометрические размеры определяются: для рам типов «а» и «б» из условий перевозки (высота стоек 2,6 – 4,5 м); для рам типов «в» и «г» высота H_1 стоек не ограничивается, а пролеты l принимаются равными $12 \div 30$ м. В двухконсольных рамах с большим вылетом консоли допускается увеличивать пролет.

Прямолинейные ригели и стойки переменной высоты сечения, убывающей по длине от карнизного узла к коньку и опоре рамы, изготавливают путем распиловки клеенных прямолинейных пакетов постоянной высоты. Уклон внутренней кромки относительно наружной принимают не более 15 %.

Все прямолинейные элементы рам из дощатоклееной древесины изготавливают из досок толщиной не более 40 мм, а гнutoкклеенные и криволинейные вставки (гнутоклеенные и трапециевидные) – из слоев толщиной t не более $1/150$ радиуса r кривизны.

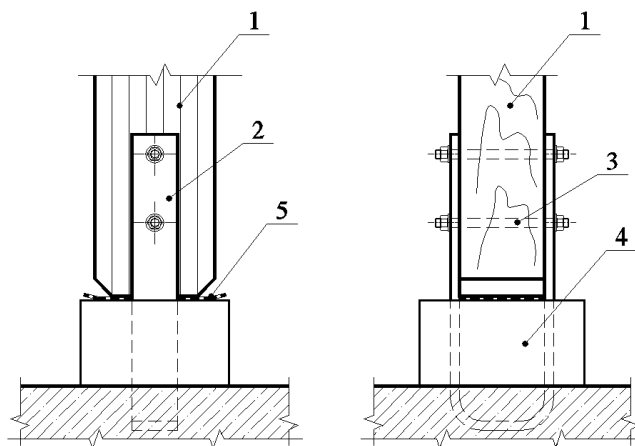
Все элементы, включая стойки и подкосы рам типа «в», выполняются из клееной древесины или LVL. Ригель в рамах типа «в» может быть продолжен наружу для образования свеса. При большом вылете свеса устанавливают дополнительный внешний подкос, поддерживающий консоль.

Конструктивные решения опорных узлов рам

Узлы соединения стоек рам с опорами (фундаментами) должны быть законструированы таким образом, чтобы в стойках не возникало:

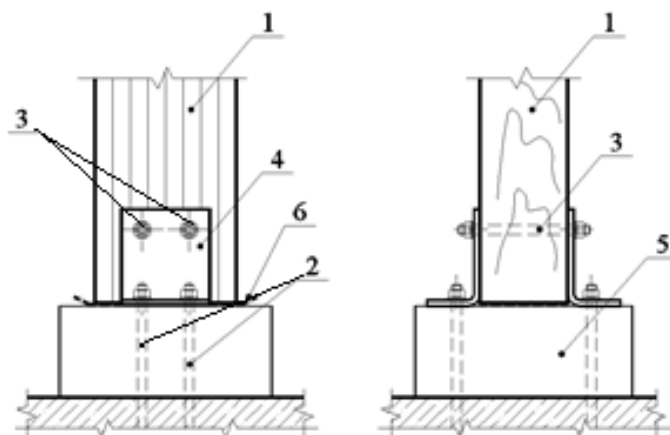
- эксцентриситетов от опорных реакций;
- концентрации напряжений в древесине опорных участков;
- конденсационного увлажнения древесины.

При пролетах рам до 21 м соединение стоек с опорой, для всех типов рам, выполняют непосредственным (лобовым) упором поверхности поперечного сечения, центрированного по оси стойки, и опоры с использованием стальных элементов заанкеренных в фундаменте, и соединенных посредством нагелей со стойкой (рисунок 3.25 – 3.27).



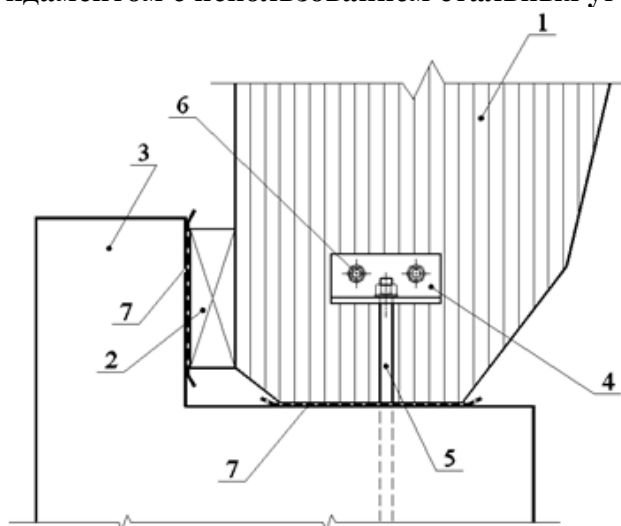
1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – металлическая пластина; 3 – нагельные элементы; 4 – железобетонная опора; 5 – гидроизоляционная подкладка

Рисунок 3.25 – Схема узла соединения стойки рамы с фундаментом посредством стальных пластин и нагелей



1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – анкерные болты; 3 – нагели;
4 – металлические уголки; 5 – железобетонная опора; 6 – гидроизоляционная подкладка

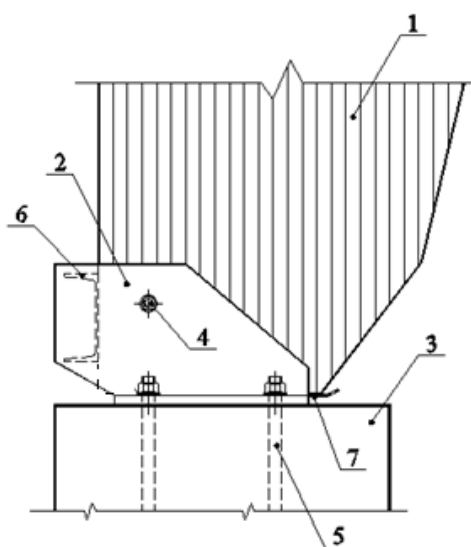
Рисунок 3.26 – Схема узла соединения стойки рамы с фундаментом с использованием стальных уголков



1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – антисептированная деревянная прокладка;
3 – армированный выступ фундамента; 4 – металлический уголок; 5 – анкерный болт;
6 – стяжные шпильки (нагели); 7 – гидроизоляционная прокладка

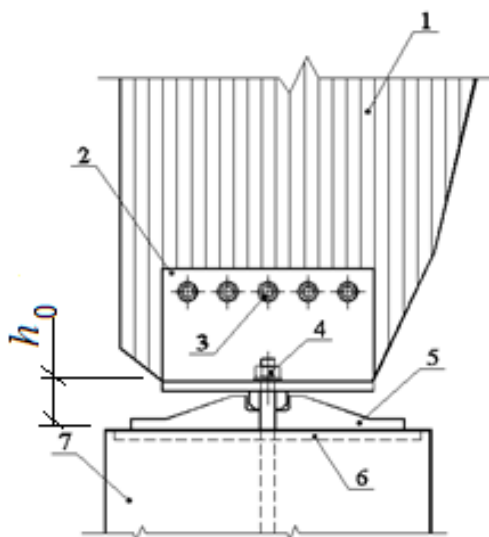
Рисунок 3.27 – Схема узла соединения стойки рамы с железобетонной опорой

При пролетах рам более 21 м соединение стоек с опорой рекомендуется выполнять с использованием металлических башмаков, присоединенных с помощью нагелей к древесине стоек (рисунке 3.28 и 3.29). Контактующие с металлом поверхности древесины должны быть защищены от конденсационного увлажнения.



1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – стальной сварной башмак;
 3 – железобетонная опора; 4 – стяжные шпильки (нагели); 5 – анкерный болт;
 6 – металлический упор сварного башмака; 7 – гидроизоляционная прокладка

Рисунок 3.28 – Схема узла опирания стойки рамы на железобетонную опору с использованием стальных башмаков и нагелей

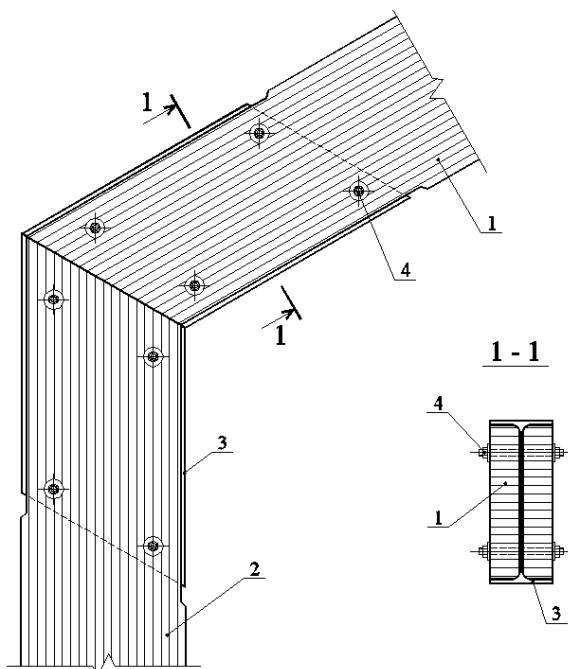


1 – стойка из дощатоклееной древесины; 2 – стальной сварной башмак;
 3 – стяжные шпильки (нагели); 4 – анкерный болт; 5 – балансир шарнирного соединения;
 6 – металлическая закладная деталь; 7 – железобетонная опора

Рисунок 3.29 – Схема узла опирания стойки рамы на железобетонную опору с использованием стальных башмаков и балансиров

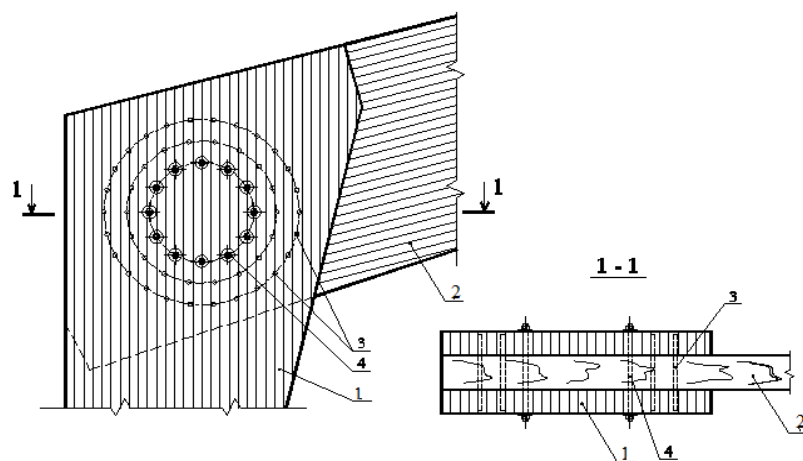
Конструктивные решения карнизных узлов рам

Соединение прямоугольных элементов рам в карнизном узле могут выполняться с использованием нагелей, вклеенных стержней, криволинейных и трапециевидных вставок на зубчатом шипу. Некоторые примеры соединений элементов рам в карнизном узле приведены на рисунках 3.30 – 3.34.



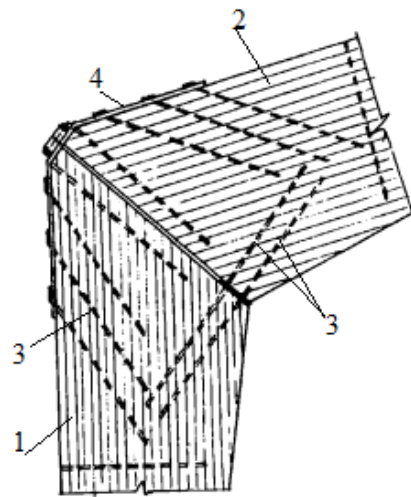
1 – ригель рамы; 2 – стойка рамы; 3 – металлический профиль
двухтаврового поперечного сечения; 4 – стяжные шпильки

Рисунок 3.30 – Схема узла соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием нагелей и металлических профилей



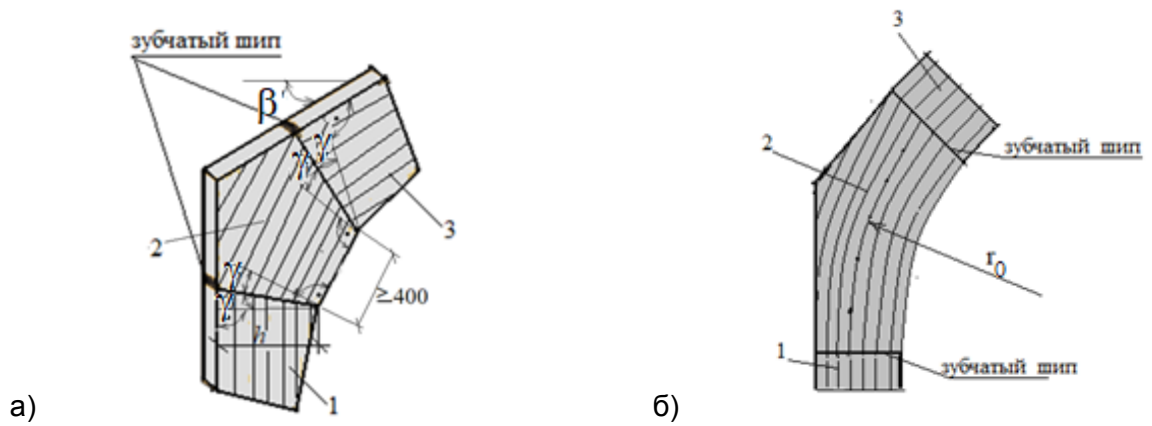
1 – стойка рамы из двух спаренных элементов; 2 – ригель рамы; 3 – нагели;
4 – стяжные шпильки

Рисунок 3.31 – Схема узла соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием нагелей



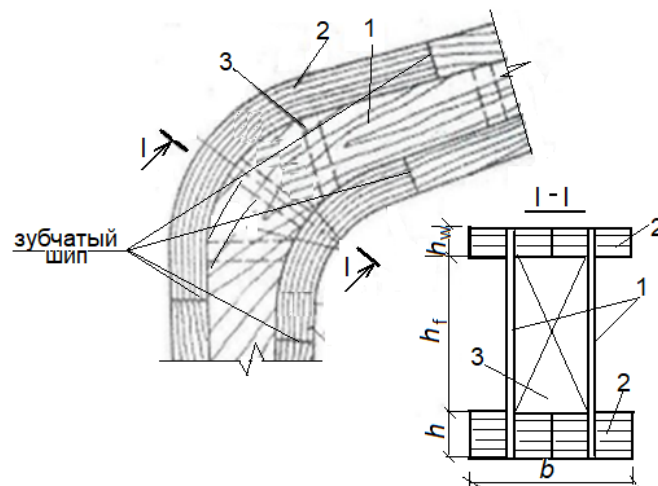
1 – стойка рамы из двух спаренных элементов; 2 – ригель рамы;
3 – клеенные стержни; 4 – стальные пластины

Рисунок 3.32 – Схема узла соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием клеенных стержней



1 – стойка рамы; 2 – вставка; 3 – ригель рамы
а) с трапециевидной вставкой; б) криволинейной вставкой

Рисунок 3.33 – Схема соединения элементов рамы в карнизном узле с использованием вставок на зубчатом шипу



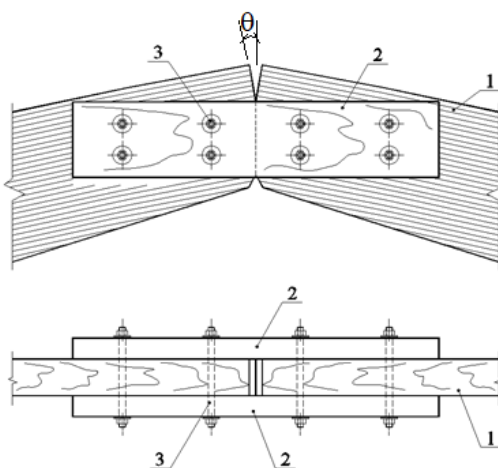
1 – фанерные стенки; 2 – пояса из дощатоклееной древесины; 3 – ребра жесткости

Рисунок 3.34 – Схема карнизного узла гнутоклееной дощатофанерной рамы двутаврового поперечного сечения

Соединение ригеля и стойки в карнизном узле с использованием гнutoкклееных или трапецевидных вставок (рисунок 3.33) используют в дощатоклееных рамах из прямолинейных элементов, а криволинейных вставок (рисунок 3.34) – в дощато-фанерных. Данное соединение выполняется механизировано с помощью зубчатого стыка. Радиус кривизны геометрической оси гнutoкклееных вставок не должен превышать $1/150t$, где t – толщина досок. Длина трапецевидной вставки по направлению волокон не должна быть менее 400 мм, а угол $\gamma = 22,5^\circ - \beta/4$, где β – угол наклона верхней грани ригеля к горизонтальной поверхности (рисунок 3.33, а).

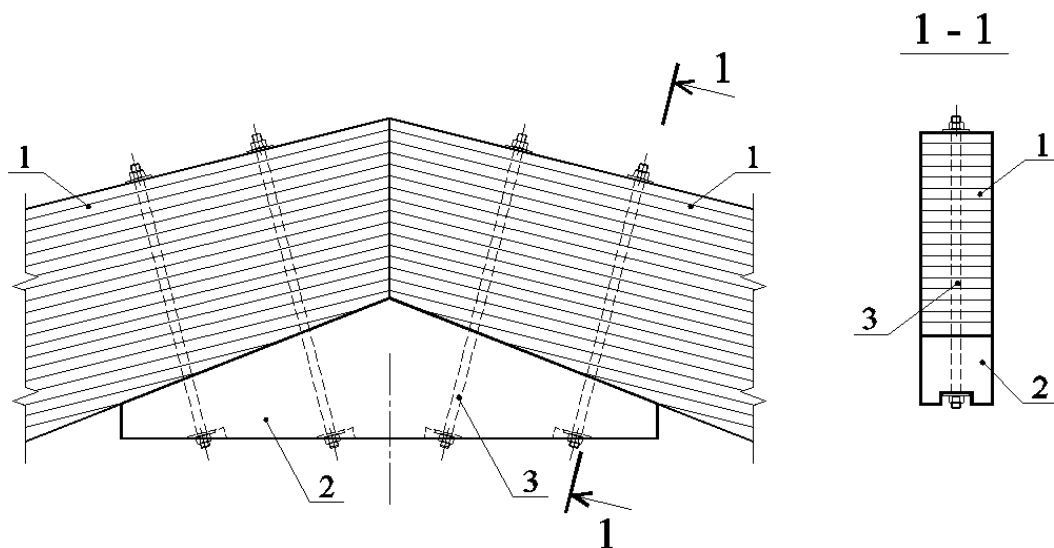
Конструктивные решения коньковых узлов рам

При пролетах рам до 21 м ригели полурам всех типов соединяются в коньке непосредственно лобовым упором скошенных под углом θ торцов сечения, центрированного по оси ригеля, боковых накладок, соединенных с ригелями посредством нагелей (рисунки 3.35 и 3.36). Величину угла θ принимают равной от 15° до 20° по отношению к вертикальной оси, а длину опорной площадки лобового упора l_n определяют расчетом.



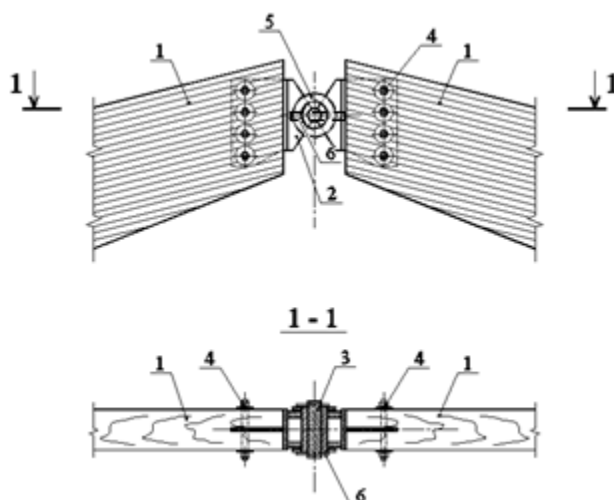
1 – дощатоклееные полурамы; 2 – деревянная накладка; 3 – стяжные шпильки (нагели)

Рисунок 3.35 – Схема узла соединения полурам в коньке рамы посредством деревянных накладок и нагелей



1 – дощатоклеенные полурамы; 2 – деревянная подкладка; 3 – стяжные шпильки

Рисунок 3.36 – Схема узла соединения полурам в коньке рамы посредством деревянной подкладки и нагелей



1 – дощатоклеенные полурамы; 2 – металлический башмак; 3 – стальной шарнир; 4 – стяжные шпильки (нагели); 5 – фиксирующие шайбы; 6 – шпильки

Рисунок 3.37 – Схема узла соединения ригелей полурам в коньке рамы посредством металлических башмаков и нагелей

При пролетах рам более 21 м, соединение ригелей рам в коньковом узле осуществляют путем использования металлических башмаков, соединенных нагелями с древесиной ригелей (рисунок 3.37). Контактующие с металлом поверхности древесины должны быть защищены от конденсационного увлажнения.

Общие рекомендации по конструированию и расчету деревянных рам

Проектирование деревянных рам выполняют в следующей последовательности:

- разработка и компоновка геометрической формы рамы (назначение и определение размеров элементов;

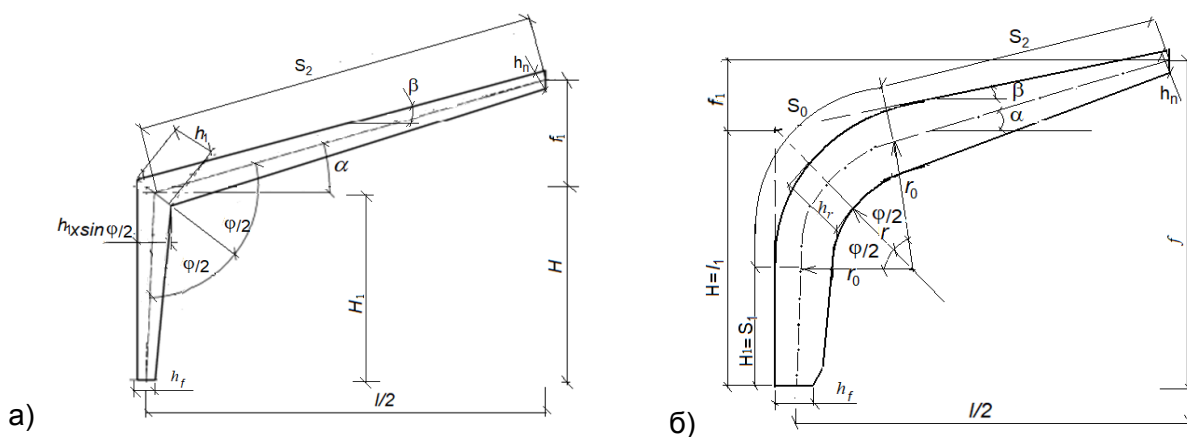
- выбор расположения характерных сечений рамы);
- назначение материала рамы; определение расчетных значений нагрузок и разработка расчетной схемы;
- выполнение статического расчета (определение расчетных значений внутренних усилий в сечениях рамы для различных комбинаций нагружения);
- проверка предельных состояний несущей способности элементов рамы;
- конструирование узлов рамы и выполнение проверок их предельных состояний несущей способности.

Разработка и компоновка геометрической формы рамы

Разработка геометрической формы рамы включает в себя определение длин элементов, углов наклона и координат точек сечений.

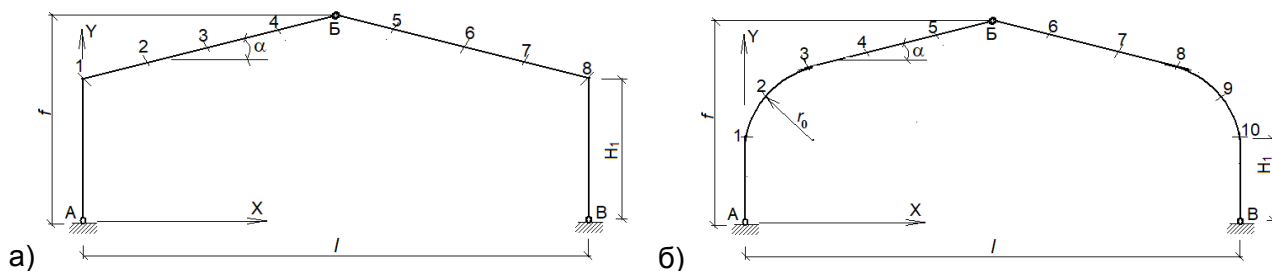
Угол наклона ригеля рамы назначают исходя из принимаемой конструкции покрытия, материала кровли, условий эксплуатации, функционального назначения проектируемого здания и т. п.

За расчетные оси трехшарнирных рам рекомендуется принимать оси, проходящие через центры опорного, карнизного и конькового узлов (рисунки 3.38 и 3.39). Высоту поперечного сечения элементов рамы в опорном h_f коньковом h_n и карнизном узле $h_f(h_1)$, принимают в соответствии с рекомендациями п. 3.2.5 и п. 3.2.7.4.



а) – полурама из прямолинейных элементов; б) – криволинейная полурама

Рисунок 3.38 – Расчетные оси трехшарнирных рам



а) – из прямолинейных элементов; б) – гнutoкленной

Рисунок 3.39 – Геометрические модели трехшарнирных рам с нумерацией характерных сечений

Радиус кривизны r_0 гнутого участка модели рамы рекомендуется принимать близким к наименьшему допустимому, равному $150t$, где t – толщина склеиваемых досок. Увеличение радиуса нерационально, так как уменьшает объем помещения.

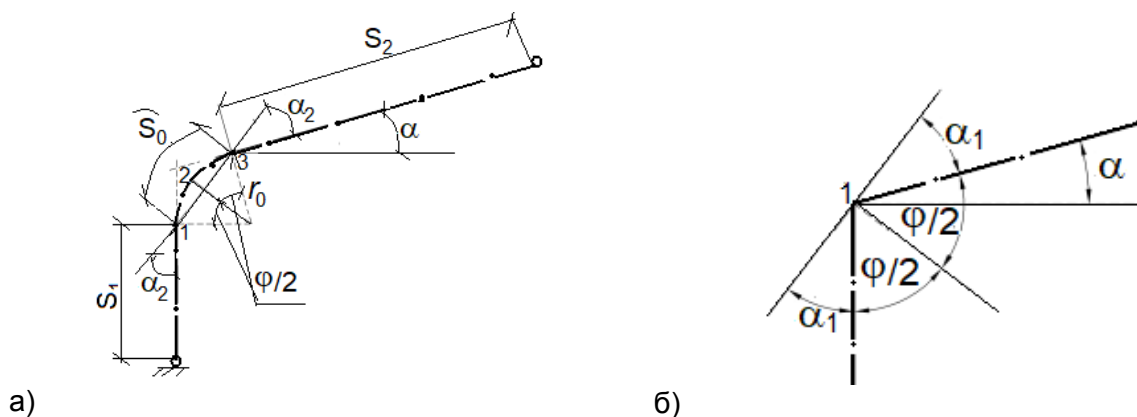
Геометрический расчет гнутоклееной полурамы с углом наклона геометрической α оси к горизонту, радиусом выгиба r_0 , длиной прямолинейных участков стойки S_1 и S_2 ригеля, можно производить с использованием следующих параметров (рисунок 3.38 – 3.40):

φ – центральный угол оси выгиба, $\varphi = 90 - \alpha$;

$\varphi/2 = (90 + \alpha)/2$ – угол между радиусом, проходящим по биссектрисному сечению и осям стойки и ригеля;

$\alpha_2 = (90 - \alpha)/2$ – угол наклона касательной оси середины выгиба к осям стойки и ригеля (рисунок 3.40).

По ним определяются координаты характерных точек оси рамы на гнутом участке и задаются промежуточные точки, в которых будут находиться усилия.

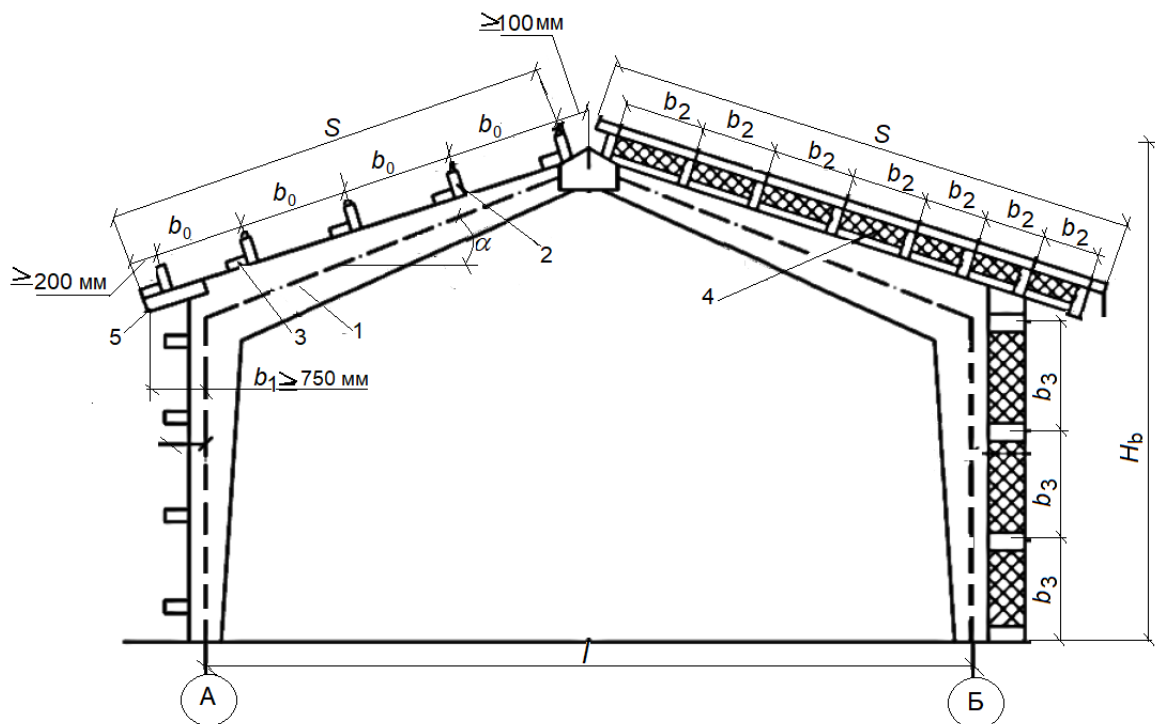


а) гнутоклееной; б) из прямолинейных элементов

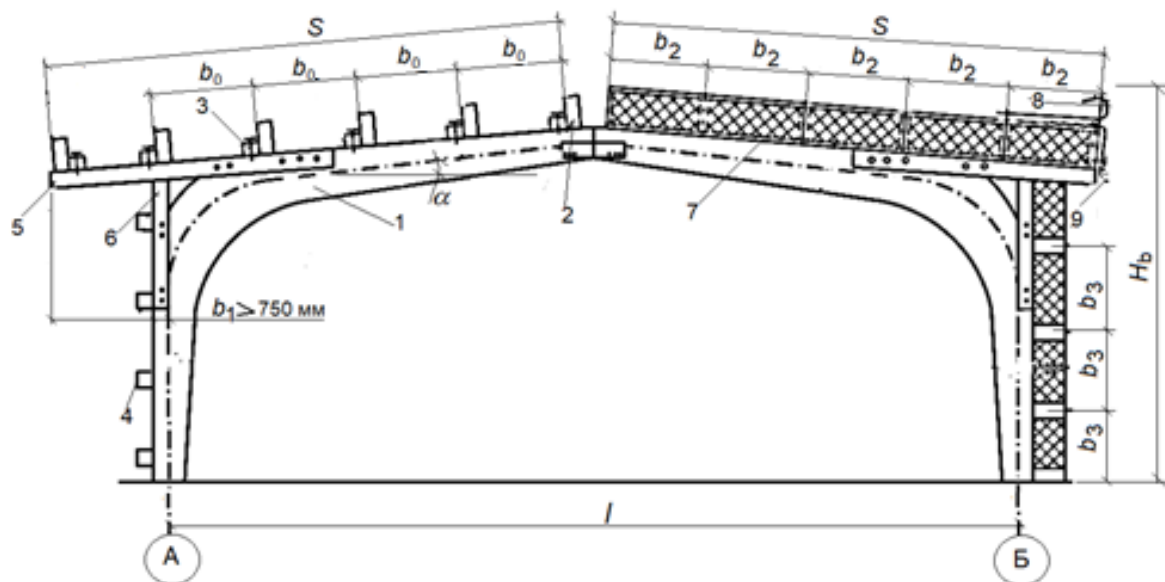
Рисунок 3.40 – Ось карнизного узла рамы

Конструирование покрытий по рамам

При конструировании рам первоначально определяют угол наклона ската к горизонту β и угол α геометрической оси рамы согласно подразделу 3.2.11.1 (рисунок 3.38 – 3.40), а также рисунков 3.41 – 3.42 настоящего подраздела.



1 – ригель рамы; 2 – прогон кровли; 3 – бобышки; 4 – трёхслойная плита; 5 – кобылка
Рисунок 3.41 – Варианты конструктивных схем ограждающих конструкций зданий с использованием трехшарнирных рам из прямолинейных элементов



1 – рама; 2 – прогон покрытия; 3 – бобышки; 4 – прогоны стенового ограждения;
 5 – кобылки покрытия; 6 – кобылки стены; 7 – трёхслойная плита; 8 – рулонная кровля;
 9 – слив

Рисунок 3.42 – Варианты конструктивных схем ограждающих конструкций зданий с использованием трехшарнирных гнуктоклееных рам

Предварительную длину ската определяет с учетом свеса кровли b_1 , который не должен быть меньше 750 мм от оси стоек, т.е. полная длина ската будет составлять $S=(l/2+b_1)/\cos\beta$. Окончательную длину S_{ef} вычисляют после назначения

других размеров и вычетом половины высоты сечения стойки, высоты сечения прогона, толщины обшивочных досок, плит покрытия или профнастила.

Шаг прогонов назначают либо по их количеству $b_0 = S/n_2$, где n_2 – количество шагов прогонов. Шаг прогонов допускается принимать исходя из толщины настила.

Удлинение ската кровли выполняют при помощи кобылок 5 (рисунок 3.41 – 3.42), устанавливаемых в виде двусторонних консольных досок (брусков) на болтах или гвоздях.

При устройстве свеса для гнутых рам (рисунок 3.42) с кровлей и стеновым ограждением из профилированного настила, торцы кровли устраиваются в виде гнутых нащельников из такого же тонколистового металла, применяемого для сливов, карнизных и коньковых профилей и других деталей.

В зданиях с утепленными плитами их ширина может приниматься от 1,2 м до 3 м.

Обшивки нижнего ряда стеновых панелей выполняют с одной или обеих сторон из более прочных и долговечных материалов, например, из стеклопластика.

Определение внутренних усилий в сечениях элементов рамы

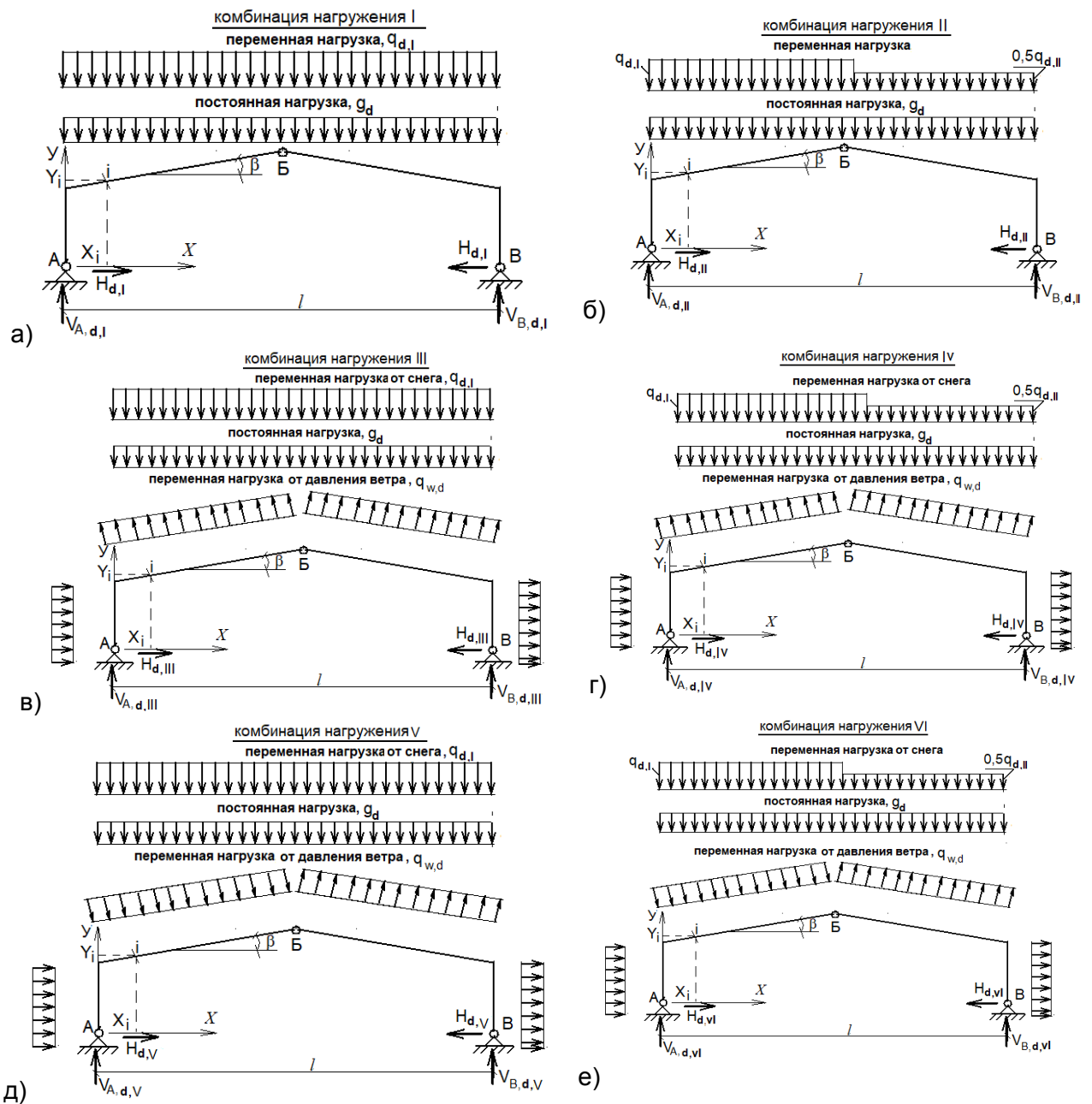
В соответствие с требованиями [1-4, 16, 25] статический расчет трехшарнирных рам выполняют для следующих комбинаций нагружения:

а) комбинация нагружения I – расчетная постоянная + переменная снеговая нагрузки на всем пролете рамы (рисунок 3.43, а);

б) комбинация нагружения II – расчетная постоянная нагрузка на всем пролете + снеговая не симметричная нагрузка (рисунок 3.43, б);

в) комбинация нагружения III – расчетная ветровая нагрузка в сочетании с перечисленными выше нагрузками при высоте стоек рам более 4 м (рисунок 3.43, в – е). При меньшей высоте ветровую нагрузку можно не учитывать.

Усилия в сечениях элементов рам определяют по общим правилам строительной механики или с использованием сертифицированных в установленном порядке программных вычислительных комплексов.



а) комбинация I (равномерно распределенная постоянная g_d нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка); б) комбинация II (равномерно распределенная постоянная + переменная снеговая $q_{d,II}$ нагрузка); в) комбинация III (равномерно распределенная постоянная g_d нагрузка + переменная равномерно распределенная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta \leq 30^\circ$); г) комбинация IV (равномерно распределенная постоянная g_d нагрузка + переменная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta \leq 30^\circ$); д) комбинация V (равномерно распределенная постоянная g_d нагрузка + равномерно распределенная переменная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta > 30^\circ$); е) – комбинация VI (равномерно распределенная постоянная g_d нагрузка + переменная снеговая $q_{d,I}$ нагрузка + нагрузка $q_{w,d}$ от давления ветра при угле наклона ригеля $\beta > 30^\circ$)

Рисунок 3.43 – Схемы комбинаций нагружения рам

При определении усилий в сечениях элементов рам (рисунок 3.44) по правилам строительной механики используют следующие формулы:

$$R_{d,A} = \frac{(3 \cdot q_{dl} + q_{dlI}) \cdot l}{8}, \quad (3.47)$$

$$R_{d,B} = \frac{(q_l + 3 \cdot q_{II}) \cdot l}{8}, \quad (3.48)$$

$$H_d = \frac{(q_l + q_{II}) \cdot l^2}{16 \cdot f}, \quad (3.49)$$

$$M_{d,i} = M_{d,b,i} - H_d \cdot y_i, \quad (3.50)$$

$$N_{d,i} = V_{d,b,i} \cdot \sin \beta_i + H_d \cdot \cos \beta_i, \quad (3.51)$$

$$V_{d,i} = V_{d,b,i} \cdot \cos \beta_i - H_d \cdot \sin \beta_i, \quad (3.52)$$

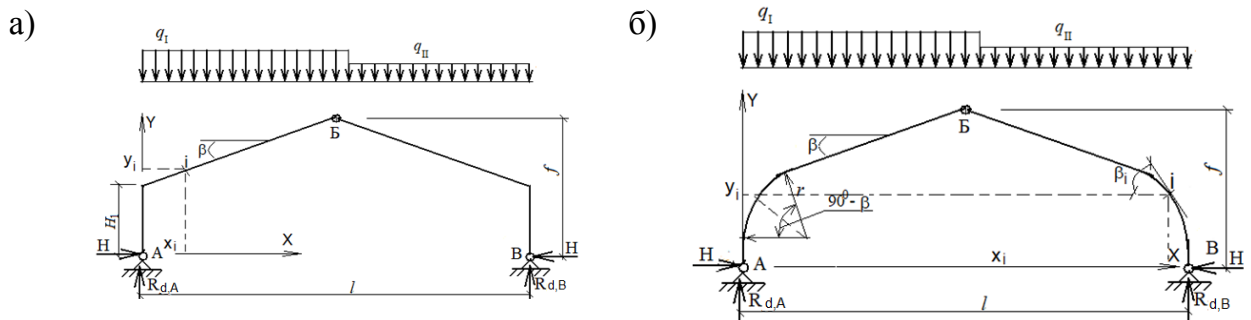
где $R_{d,A}$ и $R_{d,B}$ – соответственно расчетное значение опорных реакций (рисунок 3.44);

$M_{d,b,i}$ и $V_{d,b,i}$ – соответственно расчетное значение изгибающего момента и поперечной силы на расстоянии x_i от принятого начала координат (обычно от левой опоры в точке А), определяемые как для балки на двух опорах пролетом l для соответствующей комбинации нагружения;

H_d – горизонтальная составляющая (распор) опорной реакции рамы для соответствующей комбинации нагружения (рисунок 3.44);

Y_i – координата точки i в направлении оси y (рисунок 3.44);

β_i – угол наклона касательной в точке i к горизонту (рисунок 3.44).



а) из прямолинейных элементов; б) гнукотклееных элементов
Рисунок 3.44 – Пример расчетной схемы трехшарнирной рамы

Проверка предельных состояний несущей способности элементов рамы

При выполнении проверок предельных состояний несущей способности элементов рам расчетными сечениями являются:

- для рам типа «а» (рисунок 3.24, а) сечение в криволинейной части в месте наибольшего момента, а также сечения в местах соединения криволинейного участка с ригелем и стойкой, т.е. в месте зубчатого стыка;

- для рам типов «б» (рисунок 3.24, б) сечение в криволинейной части с наибольшим расчетным значением изгибающего момента;

– для рам типа «в» (рисунок 3.24, в) сечения, нормальные к оси ригеля, расположенные у подкоса и между стойкой и подкосом, если на этом участке высота сечения ригеля меньше высоты, чем у подкоса;

– для рам типа «г» (рисунок 3.24, г) сечения, нормальные к оси ригеля у сжатого подкоса и между подкосом и растянутым тяжом (пластиной).

Во всех сечениях рам выполняют проверку сопротивлений опорных площадок сжатию древесины вдоль или под углом к волокнам.

Проверку на сдвиг следует производить в опорном сечении стоек, сечениях конькового узла, а в рамах типа «в» (рисунок 3.24, в) – в опорных сечениях ригеля у стойки и у подкоса.

При соблюдении рекомендуемых в п. 3.2.5, 3.2.7.4 – 3.2.7.6 размеров сечений элементов рам, проверку прогиба в коньке не производят за исключением рам с консолями, где проверяют прогиб консоли.

Дощато-фанерные рамы, состоящие из дощатых поясов и фанерных стенок, подкрепленных ребрами жесткости, относятся к облегченным конструкциям. В таких рамах рекомендуется использовать преимущественно коробчатое сечение. При конструировании дощато-фанерных рам волокна наружных слоев шпона рекомендуется располагать параллельно внешней контуре стоек и ригеля. Ребра жесткости в прямолинейных частях элементов рам устанавливаются в створе стыков фанерных стенок и, если необходимо, – в промежутках. Расчет клеефанерных рам следует выполнять в соответствии с правилами [1]. Расчетными сечениями таких рам является сечение, проходящее по биссектрисе карнизного узла, и сечения в местах соединения на зубчатом шипе поясов ригеля и стойки с криволинейной вставкой.

При выполнении проверок предельных состояний несущей способности элементов рам рекомендуется следующий алгоритм:

1) назначение основных размеров габаритов рамы и поперечных сечений в опорном, коньковом и карнизном узлах выполняют в соответствии с рекомендациями п. 3.2.5, 3.2.7.4 – 3.2.7.6;

2) определение условий эксплуатации и выбор материала рамы (класса эксплуатации, значений частных коэффициентов, прочностных и упругих характеристик, используемых материалов) руководствуясь правилами п. 5.3.9, 5.3.10, подраздела 5.5 и раздел 6 [1];

3) разработка и обоснование расчетных схем рамы (определение расчетных значений воздействий и комбинаций нагружения) в соответствии с требованиями и правилами [1 – 4, 25];

4) выполнение предварительного статического расчета рамы по определению опорных реакций, внутренних усилий в коньковом и карнизном узлах (рисунок 3.43) для всех комбинаций нагружения. Данный расчет производят по правилам строительной механики или с использованием сертифицированных в установленном порядке программных вычислительных комплексов;

5) выполняют проверки сопротивлений принятого поперечного сечения в опорном узле рамы при действии максимального расчетного значения продольного $N_{d,max}$ и максимального расчетного значения сдвигающего $V_{d,max}$ усилий, используя формулы (3.53) и (3.55). При несоблюдении условий (3.53) и (3.54) выполняют корректировку размеров ранее принятого поперечного сечения.

$$\frac{\sigma_{c,0,di}}{f_{c,0,di}} \leq 1, \quad (3.53)$$

где $\sigma_{c,0,di}$ – расчетное значение напряжения сжатия вдоль волокон древесины, возникающее в рассматриваемом сечении или по контактной площадке элемента от действия расчетного значения продольного $N_{E,di}$ усилия для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемое по формуле (3.54);

$f_{c,0,di}$ – расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения.

$$\sigma_{c,0,di} = \frac{N_{E,di}}{b \cdot h_f}, \quad (3.54)$$

здесь $N_{E,di}$ – расчетное значение сжимающего усилия в сечении элемента для i -ой комбинации нагружения;

b – ширина поперечного сечения элемента рамы в опорном узле;

h_f – высота поперечного сечения (длина опорной площадки) в опорном узле рамы.

$$\frac{\tau_{di}}{f_{v,0,di} \cdot k_{cr}} \leq 1, \quad (3.55)$$

где τ_{di} – расчетное значение напряжения сдвига (скалывания) вдоль волокон древесины, возникающее в рассматриваемом сечении элемента от действия расчетного значения усилия $V_{E,di}$ сдвига для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемое по формуле (3.56);

$f_{v,0,di}$ – расчетное значение прочности древесины элемента при сдвиге вдоль волокон для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

k_{cr} – коэффициент, учитывающий возможное появление поверхностных трещин, значение которого принимается в соответствии с п 7.3.3 [1]

$$\tau_{di} = \frac{V_{E,di} \cdot S}{I_y \cdot b}, \quad (3.56)$$

здесь b – ширина поперечного сечения стойки в опорном узле рамы;

S – статический момент сдвигаемой части поперечного сечения относительно нейтральной оси y ;

I_y – момент инерции поперечного сечения в опорном узле рамы относительно оси Y .

b – ширина поперечного сечения стойки в опорном узле рамы;

б) проверку сопротивления принятого поперечного сечения в коньковом узле рамы выполняют аналогично проверкам опорного узла, с использованием формул

(3.53 и 3.56). При несоблюдении условий (3.53) и (3.55) выполняют корректировку размеров ранее принятого поперечного сечения;

7) после корректировки поперечных сечений элементов рамы в опорном и коньковом узлах, если в этом есть основания, выполняют повторно статический расчет по определению внутренних усилий в элементах рамы для принятых комбинаций нагружения;

8) Выполняют проверку устойчивости прямолинейных элементов как из плоскости рамы, так и в ее плоскости.

Проверку устойчивости прямолинейных элементов из плоскости рамы выполняют аналогичным образом, как для сжато-изгибаемых элементов с учетом их раскреплений из плоскости, т.е. с учетом значений $\lambda_{rel,z}$ и $\lambda_{rel,m}$, согласно п. 7.5 [1].

Примечание: при использовании в качестве кровли стальных профилированных листов, соединенных посредством винтов с прогонами, длина которых более двух шагов рам, расчетная длина участка $l_{ef} = b_0$, где b_0 – шаг прогонов (рисунок 3.41 и 3.42). Если в качестве основания под кровлю используют плитные элементы из ОСП, ДСП или ДВП, то $l_{ef} = a$, где a – расстояние между узлами связевых ферм в покрытии. Данную проверку выполняют как минимум в двух сечениях проверяемого элемента рамы.

Проверку устойчивости криволинейных участков рамы из ее плоскости выполняют аналогичным образом, как для сжато-изгибаемых элементов с учетом кривизны, значений $\lambda_{rel,z}$ и $\lambda_{rel,m}$, т.е. раскрепления из плоскости. Значение коэффициента k_r , учитывающего снижение прочности клееной древесины из-за изгиба досок (слоев), определяют согласно п. 10.2.8 [1]. Данную проверку выполняют в сечении, проходящем по биссектрисе карнизного узла рамы.

Значение критического $\sigma_{crit,m}$ напряжения от изгиба, используемого при определении величин приведенной гибкости $\lambda_{rel,m}$ и коэффициента k_{crit} , определяют по формуле (3.57).

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\left(\frac{\pi}{l_{0,z}} \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{05} \cdot k_v} + \frac{E_{0,05} \cdot I_z + G_{05} \cdot k_v}{2 \cdot r_0} \right)}{W_y}, \quad (3.57)$$

где $l_{0,z}$ – расчетная длина криволинейного участка рамы при изгибе относительно оси z, равная длине дуги S_0 по нейтральной оси между узлами раскрепления криволинейного участка из плоскости рамы;

I_z – момент инерции поперечного сечения относительно оси z, определяемый по формуле (3.58);

$E_{0,05}$ и $G_{0,05}$ – характеристические значения модуля модулей упругости и сдвига дощатоклееной древесины, принимаемые в зависимости от класса прочности по таблицам приложения Б настоящего пособия;

W_y – момент сопротивления поперечного сечения относительно оси y;

r_0 – радиус кривизны геометрической оси криволинейного участка полурамы (рисунок 3.45);

k_v – коэффициент, значение которого определяют по формуле (3.59).

$$I_z = \frac{b^3 \cdot h_r}{12}, \quad (3.58)$$

$$k_v = \frac{b^3 \cdot h_r}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h_r} \right), \quad (3.59)$$

здесь b и h_r – ширина и высота поперечного сечения, проходящего по биссектрисе карнизного узла полурамы.

Проверку устойчивости рамы в ее плоскости выполняют, как для прямолинейных или криволинейных (в зависимости от типа рамы) сжато-изгибаемых элементов. Напряжения, вызванные геометрическими несовершенствами, как в плоскости, так и из плоскости рамы, а также возникающие при этом деформации, учитывают путем понижения прочности на сжатие и изгиб с помощью коэффициентов k_c и k_{crit} .

Расчетную l_{ef} длину полурамы в ее плоскости определяют по формуле

$$l_{ef} = 1,25 \cdot a_s, \quad (3.60)$$

где a_s – длина полурамы с учетом длины дуги криволинейного участка (рисунок 3.45).

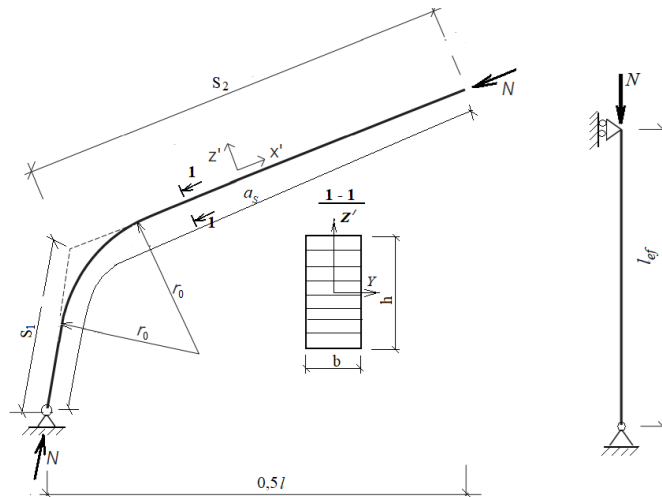


Рисунок 3.45 – Модель полурамы, используемая для определения расчетных длин ригеля и стойки

Устойчивость рамы в ее плоскости проверяют исходя из соблюдения условия

$$\frac{\sigma_{m,y,di}}{k_r \cdot f_{m,y,di}} + \frac{\sigma_{c,0,di}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,di}} \leq 1, \quad (3.61)$$

где $\sigma_{m,y,di}$ и $\sigma_{c,0,di}$ – соответственно расчетные значения нормальных напряжений в рассматриваемом сечении элемента от изгиба и сжатия для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемые по формулам (3.62 и 2.63);

$f_{m,y,di}$ и $f_{c,y,di}$ – соответственно расчетные значения прочности древесины элемента при изгибе и сжатии для i -ой комбинации (сочетания) нагружения, определяемые в соответствии с рекомендациями п. 2.29-2.30;

k_r – коэффициент, учитывающий наличие внутренних технологических напряжений, возникающих в сечении при придании элементу криволинейной формы, определяемый в соответствии с правилами п. 10.2.8 [1];

$k_{c,y}$ – коэффициент продольного изгиба относительно оси y , значение которого определяют в соответствии с правилами п. 7.2.2 [1].

$$\sigma_{m,y,di} = \frac{6 \cdot M_{E,y,di}}{b \cdot h^2}, \quad (3.62)$$

$$\sigma_{c,0,di} = \frac{N_{E,di}}{b \cdot h}, \quad (3.63)$$

здесь $M_{E,y,di}$, $N_{E,di}$ – соответственно расчетные значения изгибающего момента относительно оси y и продольного усилия в сечении элемента для i -ой комбинации (сочетания) нагружения;

b и h – соответственно ширина и высота поперечного сечения элемента.

Список литературы

1. Деревянные конструкции (СП 5.05.01-2021): Минстройархитектуры, Минск, – 2021, введены 01.06.2021, – 115 с.
2. Основы проектирования строительных конструкций (СН 2.01.01-2019): Минстройархитектуры, Минск, – 2020, введены 08.09. 2020. – 90 с.
3. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий (СН 2.01.02-2019): Минстройархитектуры, Минск, – 2020, введен 08.09. 2020, – 41 с.
4. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки (СН 2.01.04-2019): Минстройархитектуры, Минск, – 2020, введены 08.09. 2020, – 43 с.
5. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия : СН 2.01.05-2019 – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры РБ, 2020. – 128 с.
6. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-6. Общие воздействия. Воздействия при производстве строительных работ (ТКП EN 1991-1-6-2009 (02250)): Минстройархитектуры, Минск, – 2009: введен 10.12. 2009 – 32 С.
7. Найчук, А.Я. Ограждающие конструкции покрытий зданий из древесины и плитных материалов на ее основе/ А.Я. Найчук, И.Ф. Захаркевич; под ред. А.Я. Найчука, И.Ф. Захаркевича. – Брест: Издательство БрГТУ, 2021. – 72 с.
8. Древесина многослойная клееная. Размеры. Допустимые отклонения (СТБ EN 390-2011):Госстандарт, Минск,– 2011, введен 01.01.2012. – 7 С.
9. Найчук, А. Я. Деревянные клееные конструкции в спортивных зданиях и сооружениях Республики Беларусь / А. Я. Найчук // Збірник наукових праць українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій ім. В. М. Шимановського. – Київ, 2010. – Вип. 5. – С. 32–40.
10. Опорные и коньковые узлы деревянных клееных трехшарнирных арок: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / А. Я. Найчук; МВиССО УССР; КИСИ – Киев, 1985. – 24 с.
11. Найчук, А. Я. Оценка прочности узлов деревянных клееных трехшарнирных арок методами механики разрушения / А. Я. Найчук // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2006. – № 6. – С. 34–35.
12. Найчук, А. Я. Опыт проектирования и строительства общественных зданий с применением деревянных клееных конструкций в Республике Беларусь / А. Я. Найчук, В. Н. Деркач // Строительство в прибрежных курортных регионах : материалы VI Международной научно-практической конференции. – Сочи, 2010. – С. 68–70.
13. Турковский, С. Б. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК) / С. Б. Турковский, А. А. Погорельцев, И. П. Преображенская. – М. : РИФ Стройматериалы. – 2013 – 308 с.

14. Найчук, А. Я. О несущей способности узлов деревянных клееных трехшарнирных арок / А. Я. Найчук // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2006. – № 3. – С. 141–145.
15. Найчук, А. Я. Натурные испытания клеелесняной арки волнообразного очертания пролетом 42 м с затяжкой / А. Я. Найчук, А. Н. Петрукович // Итоги строительной науки : материалы V Международной научно-технической конференции / Владимирский госуниверситет. – Владимир, 2007. – С. 17–23.
16. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Температурные воздействия : СН 2.01.06-2019. – Введены 08.09.2020. – Минск : Минстройархитектуры – 2020. – 35 с.
17. Защита строительных конструкций от коррозии : СН 2.01.07-2020. – Введены 31.12.2020. – Минск : Минстройархитектуры. – 2020. – 69 с.
18. Воздействия на здания в соответствии с требованиями Еврокодов / В. В. Тур [и др.] ; под ред. В. В. Тура, А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2020. – 81 с.
19. Металлические конструкции / А. Б. Шурина [и др.] ; под ред. А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2020. – 177 с.
20. Найчук, А. Я. Арки из древесины и материалов на ее основе / А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич, А. Б. Шурина; под ред. А. Я. Найчука, И. Ф. Захаркевича, А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2022. – 68 с.
21. Стальные конструкции : СП 5.04.01-2020. – Введен 01.10.2021. – Минск : Минстройархитектуры РБ. – 2021. – 153 с.
22. Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020. – Введены 16.11.2020. – Минск: Минстройархитектуры РБ. – 244 с.
23. Серов, Е.Н. Проектирование деревянных конструкций: учебное пособие / Е. Н. Серов, Ю. Д. Санников, А. Е. Серов; под ред. Е. Н. Серова. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 536 с.
24. Найчук А. Я. Карнизный узел трехшарнирной рамы из клееных деревянных элементов на вклеенных стержнях / А. Я. Найчук // Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини: зб. наукових праць. – ОДАБА, Випуск №25 (2021) – С. 92-102.
25. Найчук, А. Я. Рамы из древесины и материалов на ее основе / А. Я. Найчук, И. Ф. Захаркевич, А. Б. Шурина; под ред. А. Я. Найчука, И. Ф. Захаркевича, А. Б. Шурина. – Брест : Издательство БрГТУ, 2022. – 68 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

I. Цель работы:

1. *Определить модуль упругости древесины.*
2. *Определить прочность древесины.*
3. *Ознакомиться с методикой определения механических характеристик древесины и с приборами, используемыми при испытаниях.*

II. Методика проведения испытания

Для испытаний изготавливают образцы, которые имеют форму брусков размерами 20x20x300 мм, так, чтобы годовые кольца на торцах были параллельными паре граней. Перед испытанием на середине длины образца измеряют штангенциркулем по ГОСТ 166-80 с точностью до 0,1 мм его ширину и высоту.

При испытаниях образец помещают на неподвижные закругленные опоры радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины прикреплена траверса с двумя валиками с таким же радиусом, как и опоры. Для измерения прогиба в зоне чистого изгиба устанавливают индикатор часового типа (рисунок 1.1).

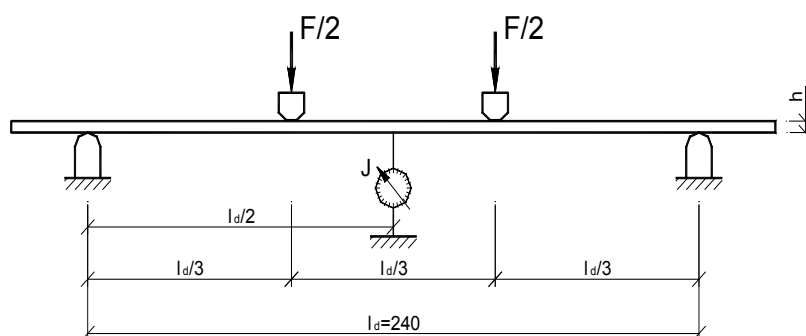


Рисунок 1.1 – Схема испытания образца

Нагрузку на образец прикладывают при постоянной скорости перемещения нагружающего элемента. Скорость должна быть такой, чтобы продолжительность нагружения образца до максимального значения нагрузки составляла не менее 2 и не более 5 минут.

Когда нагрузка достигнет 800 Н, плавно разгружают образец до 200 Н, после чего образец вновь нагружают до 800 Н и разгружают до 200 Н. При последующих трех нагружениях, в момент достижения нагрузки 300 и 800 Н измеряют прогиб с точностью до 0,01 мм. Отсчеты по индикатору заносят в таблицу 1.1. По результатам полученных данных определяют модуль упругости.

После циклического нагружения прикладывают ступенчатую нагрузку через 200 Н для определения прочности при изгибе и построения графика зависимости деформаций от напряжений $f_m^{W,T} - \Delta u$. В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки.

После испытания с помощью электровлагомера определяют влажность образца и фиксируют температуру воздуха в лаборатории.

Результаты испытаний и вычислений заносят в таблицу 1.2.

h – высота образца, см;

$\Delta u_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое значение приращения прогиба в зоне чистого изгиба, см;

C_v – коэффициент изменчивости, равный 0,175;

α – поправочный коэффициент, равный 0,04;

β – поправочное число на температуру, равное 4,5 МПа.

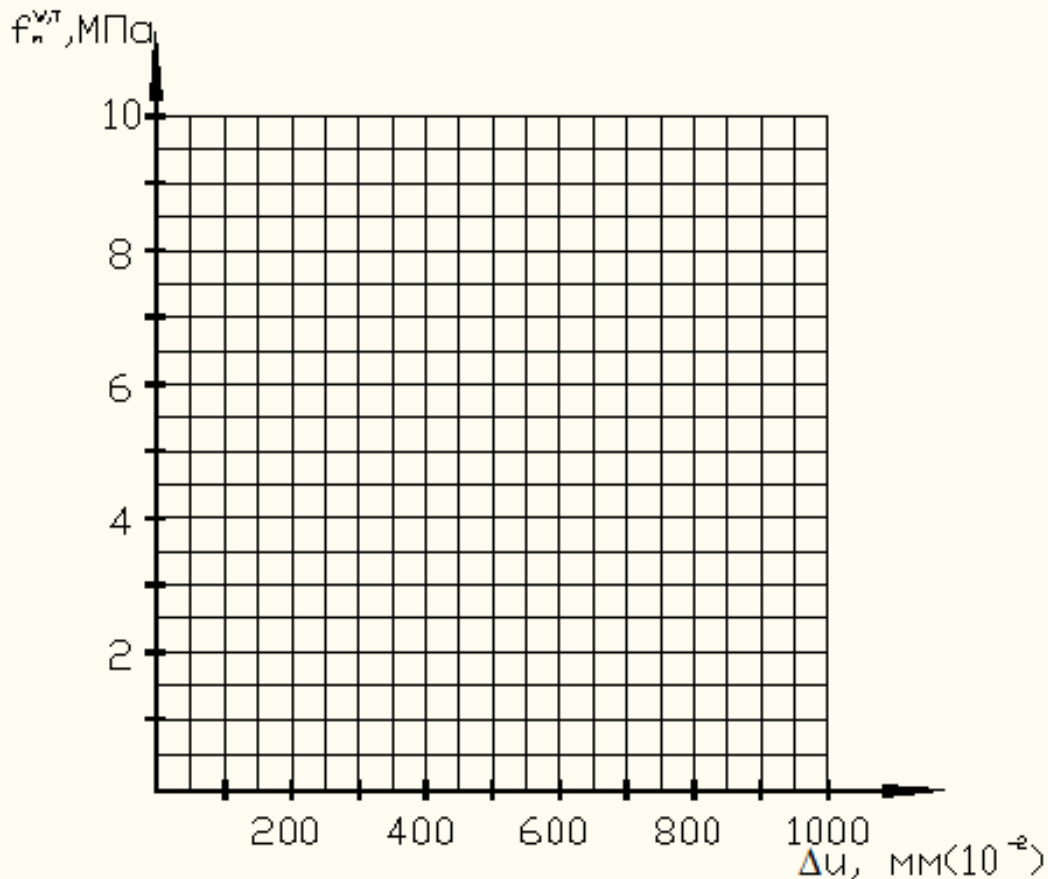


Рисунок 1.2 – Зависимость деформаций от напряжений $f_m^{w,t} - \Delta u$ при статическом изгибе

Рисунок 1.3 – Характер разрушения образца

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. Что такое модуль упругости?
2. Что такое характеристическое значение прочности древесины и как оно определяется?
3. Что характеризует коэффициент изменчивости и от чего он зависит?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИСПЫТАНИЕ ДРЕВЕСНОПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К группе древесноплитных материалов относятся крупноформатные искусственные композитные материалы многофункционального назначения, состоящие из древесины или других растительных материалов в виде шпона, стружки или волокна. Отдельные древесные частицы соединены между собой механическими, физическими или химическим связями с использованием специально введенных или полученных непосредственно при изготовлении связующих.

В зависимости от исходного сырья, способа его подготовки и переработки, а также от характера связей, возникающих в процессе изготовления, древесноплитные материалы можно разделить на следующие основные виды: фанеру, древесно-волоконистые плиты (ДВП), древесно-стружечные плиты (ДСП) и комбинированные древесноплитные материалы.

Строительная фанера представляет собой слоеный листовый материал, состоящий, как правило, из нечетного числа слоев, называемых шпонами. Смежные шпоны имеют взаимно перпендикулярное расположение волокон и склеиваются между собой горячим или холодным прессованием.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) получают путем горячего прессования специальной стружки, пропитанной синтетическими смолами.

I. Цель работы – определение модуля упругости и прочности строительной фанеры и древесно-стружечной плиты при статическом изгибе.

II. Методика проведения испытания

Для испытаний изготавливают образцы, которые имеют форму пластины с размерами $150 \times 50 \times h$ мм и $300 \times 50 \times h$ мм соответственно для фанеры и ДСП. Перед испытанием измеряют длину и ширину образцов в двух местах параллельно его кромкам с помощью металлической линейки по ГОСТ 427-79. Толщину образцов измеряют штангенциркулем по ГОСТ 166-80 в четырех разных местах образца. Отклонение по толщине образцов должно быть равно допустимому отклонению по толщине материала, установленному стандартом.

При испытании образцы помещают на неподвижные закругленные опоры радиусом 25 мм. К верхнему захвату испытательной машины прикреплен траверса с одним роликом такого же радиуса, как и опоры. Для измерения прогиба по середине пролета устанавливают индикатор часового типа (рисунок 2.1).

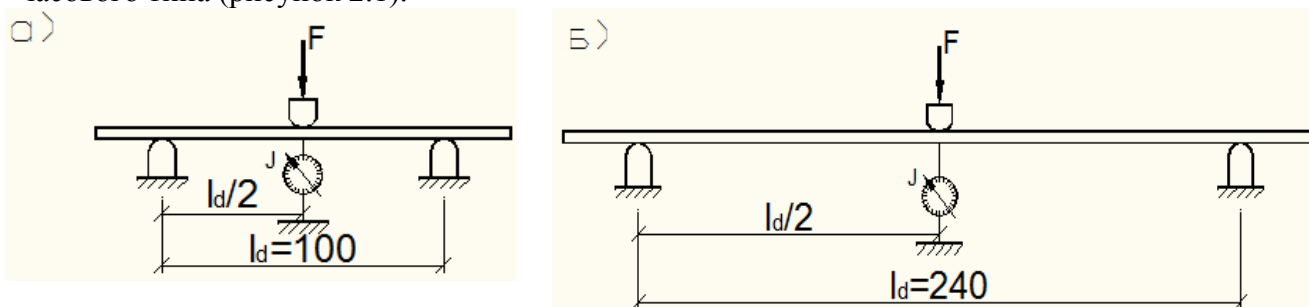


Рисунок 2.1 – Схема испытания образцов фанеры (а) и ДСП (б)

Нагрузку на образцы прикладывают при постоянной скорости перемещения нагружающего элемента. Скорость должна быть такой, чтобы продолжительность нагружения образцов до максимального значения нагрузки составляла не менее 30 и не более 90 секунд.

Для определения модуля упругости образцы подвергают трехкратной равномерной нагрузке в пределах 2-25 % от величины разрушающей нагрузки. Отсчеты по индикатору заносят в таблицу 2.1. По результатам полученных данных определяют модуль упругости материалов.

После циклического нагружения прикладывают ступенчатую нагрузку через 200Н и 50Н соответственно для фанеры и ДСП, для определения прочности и построения диаграмм в осях $f_i - \Delta U$. В стадии разрушения фиксируют величину нагрузки и заносят в таблицу 2.2.

Таблица 2.1 – Показания индикатора

№ п/п	Фанера			ДСП		
	Ступени нагружения F, Н	Отсчеты по индикатору, мм		Ступени нагружения F, Н	Отсчеты по индикатору, мм	
		U	ΔU		U	ΔU
1	2	3	4	5	6	7
Циклическое нагружение						
1	F ₁ = 300			F ₁ = 50		
	F ₂ = 800			F ₂ = 200		
2	F ₁ = 300			F ₁ = 50		
	F ₂ = 800			F ₂ = 200		
3	F ₁ = 300			F ₁ = 50		
	F ₂ = 800			F ₂ = 200		
			ΔU _{ср} =			ΔU _{ср} =
Ступенчатое нагружение						
0	0			0		
1	200			50		
2	400			100		
3	600			150		
4	800			200		
5	1000			250		
6	1200			300		
7	1400			350		
8	1600			400		
9	1800			450		
10	2000			500		

Таблица 2.2 – Результаты испытаний

Показатели	Фанера	ДСП
Порода древесины		-
Отношение количества шпонов, уложенных вдоль и поперек волокон		-
Размеры, мм	b= h= l _d =	b= h= l _d =
Модуль упругости, МПа	$E_0 = \frac{\Delta F \cdot l_d^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta u_{ср}} =$	$E_0 = \frac{\Delta F \cdot l_d^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta u_{ср}} =$
Разрушающая нагрузка, кН	F _{max} =	F _{max} =
Прочность, МПа	$f_i = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_d}{2 \cdot b \cdot h^2} =$	$f_i = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l_d}{2 \cdot b \cdot h^2} =$
Характеристическое значение прочности, МПа	$f_{i,k} = f_i (1 - 1.65 C_v) =$	$f_{i,k} = f_i (1 - 1.65 C_v) =$
Тип фанеры		
Тип плиты ДСП		

где ΔF – приращение нагрузки при циклическом нагружении, кН;

l_d – расстояние между центрами опор, см;

C_v – коэффициент изменчивости, равный 0,15 – для фанеры и 0,16 – для ДСП.

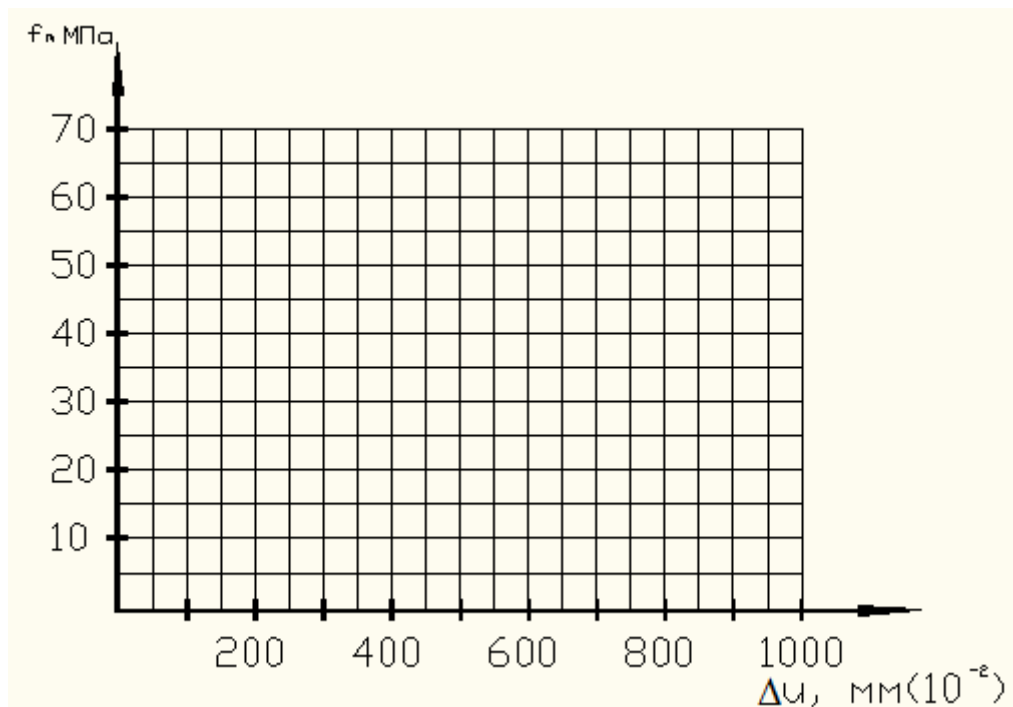


Рисунок 2.2 – Зависимость деформаций от напряжений при статическом изгибе фанеры (а) и ДСП (б)

Рисунок 2.3 – Характер разрушения образцов фанеры (а) и ДСП (б)

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. Как влияет соотношение количества шпонов, уложенных вдоль и поперек волокон, на величину характеристик прочности и жесткости фанеры?
2. Какое строение фанеры следует считать рациональным?
3. Какими преимуществами обладает фанера по сравнению с цельной древесиной?
4. Почему прочностные и упругие характеристики фанеры выше, чем у ДСП?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ

I. Общие сведения

Соединения элементов представляют собой важнейшую часть несущих деревянных конструкций, от прочности которых непосредственно зависит надежная служба конструкций. Одним из видов соединения элементов деревянных конструкций являются соединения на механических связях, к которым относятся болты, шпильки, гвозди, шурупы, глухарь, шайбы шпуночного типа, нагельные и металлические зубчатые пластины.

Испытание образцов соединений деревянных конструкций необходимо для выяснения основных характеристик его работы под нагрузкой.

II. Цель работы:

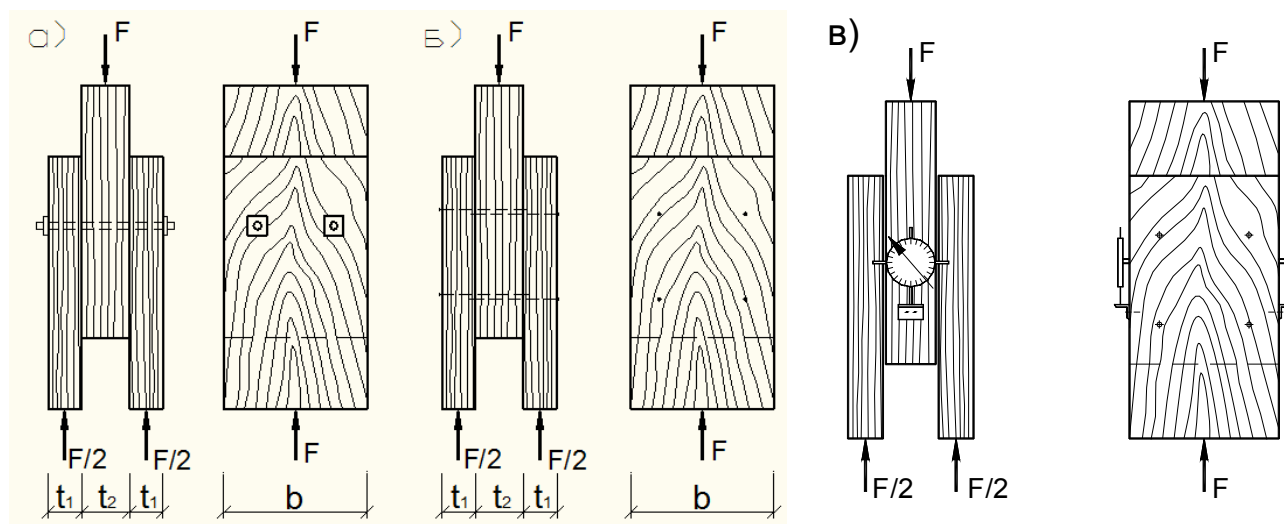
1. *Определить максимальную несущую способность соединения и характер деформации разрушения.*

2. *Определить величину деформаций соединения.*

3. *Построить график зависимости деформаций сдвига от нагрузки.*

III. Методика проведения испытаний

Для испытаний изготавливают образцы соединений на стальных стержнях (шпильках) и обычных гвоздях из стальной проволоки. Форма и размеры образцов приведены на рисунке 3.1 «а», «б». Испытание образцов проводится на разрывной машине Р-10.



а) соединение на шпильках; б) соединение на гвоздях; в) схема установки индикаторов

Рисунок 3.1 – Схема испытания и эскизы образцов

Испытание ведется непрерывно с постоянной скоростью, равной примерно 300 Н/сек. Отсчеты по индикатору фиксируют в тот момент, когда нагрузка достигает соответствующей ступени, и заносятся в таблицу 3.1. Установка индикаторов часового типа показана на рисунке 3.1 «в». Величину разрушающей нагрузки устанавливают по силоизмерителю машины, когда при непрерывном росте деформаций нагрузка не увеличивается.

Результаты испытаний элементов деревянных конструкций на шпильках и гвоздях сводятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.1– Показания индикаторов при испытаниях соединений

№ п/п	На шпильках			На гвоздях		
	Ступени нагружения F, кН	Отсчеты по индикатору		Ступени нагружения F, кН	Отсчеты по индикатору	
		U, мм	ΔU , мм		U, мм	ΔU , мм
1	2	3	4	5	6	7
0	0			0		
1	2			1		
2	4			2		
3	6			3		
4	8			4		
5	10			5		
6	12			6		
7	14			7		
8	16			8		
9	18			9		
10	20			10		

Таблица 3.2 – Результаты испытаний соединений

Показатели	на шпильках	на гвоздях
1	2	3
Порода древесины		
Класс прочности древесины		
Толщина соединяемых элементов, мм:	$t_1 =$	$t_1 =$
- крайних		$t_2 =$
- среднего	$t_2 =$	
Диаметр нагеля, мм		
Характеристическое значение плотности древесины пиломатериала для класса прочности С27, таблица 6.2[1]	$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$	$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$
Характеристическое значение сопротивления древесины при вдавливании плашмя: – шпильки, таблица 9.6[1] – гвоздя для соединений из древесины без предварительного сверления отверстий, таблица 9.5[1]	$f_{h.1.k} = f_{h.2.k} = 0.082(1-0.01d) \cdot \rho_k =$	$f_{h.1.k} = f_{h.2.k} = 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} =$
Прочность материала нагеля на растяжение	$f_{u.k} = 360 \text{ Н/мм}^2$	$f_u = 600 \text{ Н/мм}^2$
Характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении: – шпильки, формула 9.35 таблицы 9.4 [1] – гвоздя, формула 9.32 таблицы 9.4 [1]	$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u.k} \cdot d^{2.6} =$	$M_{y,Rk} = 0,3 f_k \cdot d^{2.6} =$

1	2	3
Характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля, Н:	$F_{V.Rk} = f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 0.5 f_{h2,k} \cdot t_2 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \times$ $\times \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$ $=$ $F_{V.Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d}$ $=$	$F_{V.Rk} = f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 0.5 f_{h2,k} \cdot t_2 \cdot d =$ $F_{V.Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \times$ $\times \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right]$ $=$ $F_{V.Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d}$ $=$
Минимальное характеристическое значение несущей способности для одного среза нагеля, Н	$F_{V.Rk.min} =$	$F_{V.Rk.min} =$
Минимальное расчетное значение несущей способности для одного среза нагеля, Н	$F_{V,Rd,min} = \frac{k_{mod} \cdot F_{V,Rk,min}}{\gamma_M} =$	$F_{V,Rd,min} = \frac{k_{mod} \cdot F_{V,Rk,min}}{\gamma_M} =$
Расчетное значение несущей способности соединения, Н	$F_{V,Rd} = F_{V,Rd,min} \cdot n_{ef} \cdot n_s =$	$F_{V,Rd} = F_{V,Rd,min} \cdot n_{ef} \cdot n_s =$
Разрушающая нагрузка, Н		
Нагрузка при деформации сдвига $\delta = 2$ мм, Н	$F =$	$F =$

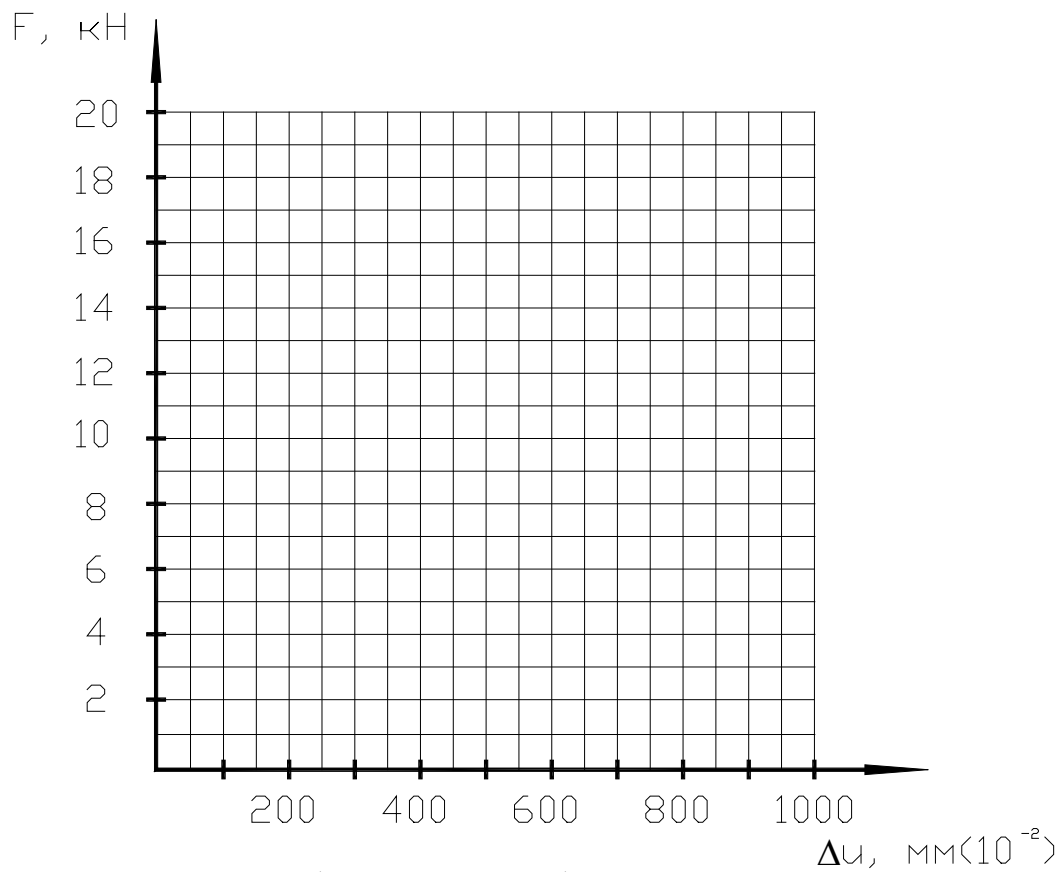
где: $\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}} =$;

$k_{mod} = 0.6$ – коэффициент модификации, таблица 5.4 [1];

$\gamma_M = 1,3$ – частный коэффициент свойств материала, таблица 5.6 [1];

n_{ef} – число нагелей;

n_s – число плоскостей сдвига.



а) - на шпильках; б) – на гвоздях
Рисунок 3.2 – Зависимость деформаций от нагрузки

а) – на шпильках; б) – на гвоздях
Рисунок 3.3 – Характер разрушения образцов

Выводы:

Вопросы для самопроверки

1. Как определяется расчетная несущая способность нагеля на один шов сплачивания в соединениях деревянных элементов?
2. Как располагаются нагели в соединениях деревянных элементов на гвоздях и шпильках?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИСПЫТАНИЕ СОСТАВНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ПОДАТЛИВЫХ СВЯЗЯХ НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ

I. Общие сведения

Из-за ограниченности сортамента пиломатериалов в деревянных конструкциях применяют составные сечения из досок или брусьев, соединенных между собой различными связями: гвоздями, болтами, шпонками и т.п. Такие связи воспринимают сдвигающие усилия и препятствуют взаимному сдвигу отдельных ветвей составного сечения, обеспечивая их совместную работу.

Так как все виды механических соединений обладают податливостью, то в составных элементах под нагрузкой также происходит частичное смещение отдельных ветвей вдоль рабочих швов. Вследствие этого составные элементы имеют меньшую несущую способность, чем такие же по площади элементы цельного сечения. Особенность расчета составных элементов на податливых связях заключается в учете их податливости. Расчет производится по формулам для элементов цельного сечения с учетом поправочных коэффициентов к геометрическим характеристикам сечения. Для изгибаемого составного элемента на податливых связях геометрические характеристики будут равны:

$$W_{ef} = k_w \cdot W_d;$$

$$I_{ef} = k_i \cdot I_{br},$$

где W_d , I_{br} – расчетный момент сопротивления и момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси соответственно, определяемые как для цельного сечения;

k_w – коэффициент, учитывающий изменение момента сопротивления для составных балок на податливых соединениях;

k_i – коэффициент, учитывающий изменение момента инерции для составных балок на податливых соединениях.

Число связей на половине пролета определяется по формуле:

$$n_n = \frac{T_{v,d}^{1/2}}{F_{v,Rd,min}},$$

где $T_{v,d}^{1/2}$ – полное сдвигающее усилие на участке от опоры до сечения с наибольшим моментом

$$T_v^{1/2} d = \frac{S_{br}}{I_{br}} \int_0^{l/2} V \cdot dx = M_{max} \frac{S_{br}}{I_{br}};$$

$F_{v,Rd,min}$ – минимальное значение несущей способности одного среза нагеля в соединении;

M_{max} – максимальный изгибающий момент;

S_{br} – статический момент брутто сдвигаемой части поперечного сечения относительно нейтральной оси;

I_{br} – момент инерции брутто поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси.

II. Цель работы:

1. *Определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения цельного и составного элементов.*

2. *Построить графики прогибов цельного и составного элементов и сделать их сопоставительный анализ. Построить график деформаций сдвига для составного элемента и определить требуемое количество связей.*

3. *Для составного элемента определить экспериментальные значения коэффициентов k_w , k_i .*

III. Методика проведения испытаний

В работе проводится испытание на статический изгиб одновременно двух элементов – Б1 и Б2. Элемент Б1 имеет цельное сечение, а элемент Б2 представляет собой составное сечение из двух брусков, соединенных по высоте с помощью гвоздей (рисунок 4.1).

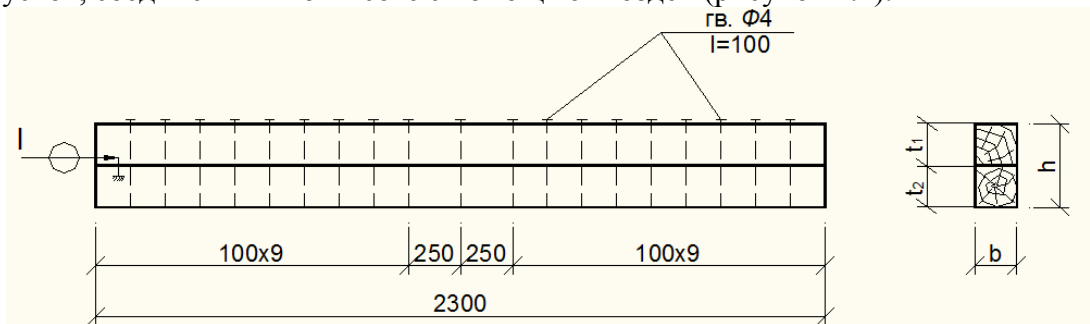


Рисунок 4.1 – Схема расстановки связей в элементе Б2

Оба элемента имеют одинаковые размеры и испытываются одинаковой нагрузкой. Нагружение осуществляется двумя сосредоточенными силами в третях пролета при помощи испытательных грузов (рисунок 4.2). Прогибы элементов посередине пролета определяются при помощи прогибомеров П1 и П2.

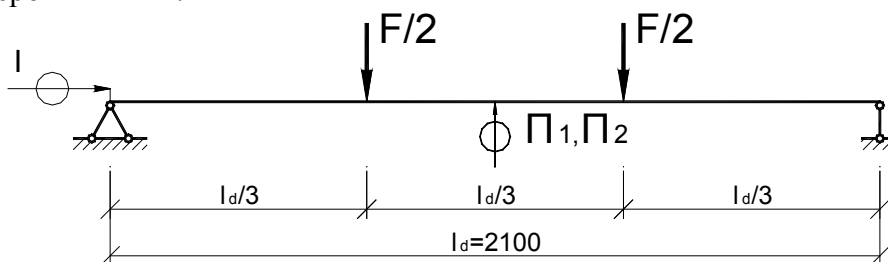
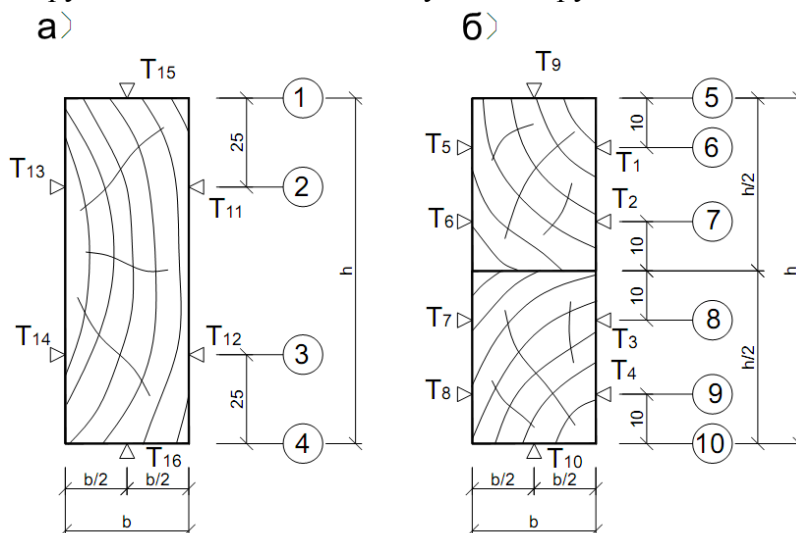


Рисунок 4.2 – Схема испытания элементов Б1 и Б2

Для определения относительных деформаций по сечениям элементов в средней части наклеены тензорезисторы (рисунок 4.3). Отчеты по тензорезисторам осуществляются в автоматическом режиме при помощи специального тензометрического комплекса ТИССА. На опорном участке элемента Б2 установлен индикатор I для измерения деформаций сдвига брусков в месте их соединения. Нагружение каждого элемента осуществляется ступенями $\Delta F = 0,2$ кН и доводится до максимальной нагрузки $F = 1$ кН, что соответствует упругой области работы обоих элементов. Приращение показателей тензорезисторов заносятся в таблицу 4.1. Отсчеты по прогибомерам и индикатору снимаются на каждой ступени нагружения и заносятся в таблицу 4.2.



а) элемент цельного сечения Б1; б) составной элемент Б2

Рисунок 4.3 – Схема расстановки тензорезисторов

Таблица 4.1 – Результаты экспериментальных исследований

№№ тензорезисторов	T, x 10 ⁻⁵	Сечения элементов	Относительные деформации ε, x10 ⁻⁵	Нормальные напряжения σ _i =ε·E ₀ , МПа
1	2	3	4	5
T ₁		1		
T ₂		2		
T ₃		3		
T ₄		4		
T ₅		5		
T ₆		6		
T ₇		7		
T ₈		8		
T ₉		9		
T ₁₀		10		
T ₁₁				
T ₁₂				
T ₁₃				
T ₁₄				
T ₁₅				
T ₁₆				

Таблица 4.2 – Показания приборов при нагружении элементов

Ступени нагруж. F, кН	Элемент Б1			Элемент Б2			
	Прогибомер П1		Прогиб U, мм	Прогибомер П2		Индикатор I, мм	Деформации сдвига V, мм
	U, мм	ΔU, мм		U, мм	Прогиб U _{ef} , мм		
1	2	3	4	5	6	7	8
0							
0,2							
0,4							
0,6							
0,8							
1							

IV. Обработка результатов испытания

В каждом сечении элементов (сечения на рисунке 4.3 обозначены цифрами в кружочках) определяются относительные деформации как среднее арифметическое ΔT тех тензорезисторов, которые находятся в данном сечении. Нормальные напряжения в указанных сечениях вычисляются после определения модуля упругости древесины по формуле таблицы 4.3 с использованием данных таблицы 4.2 (графа 3).

В таблице 4.2 значения ΔU (графа 3) определяются как разница между смежными показаниями, соответствующими ΔF = 0,2 кН. Значения прогибов и деформаций сдвига (графы 4,6,8) определяются как приращения по отношению к нулевой степени нагружения.

По значениям нормальных напряжений (экспериментальные – таблица 4.1, теоретические – таблица 4.3) строятся эпюры для элементов Б1 и Б2, а по значениям деформаций (таблица 1.2) графики прогибов и сдвига при увеличении нагрузки F = 0 – 1 кН.

В таблице 4.3:

$W_d = b \cdot h^2 / 6 =$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения цельного элемента;

$W_{d.c.} = b \cdot h^2 / 12 =$ - расчетный момент сопротивления поперечного сечения составного элемента при отсутствии связей.

Таблица 4.3 – Результаты испытаний

Показатели	Расчеты
1	2
Класс прочности древесины	C27
Расчетный пролет	$l_d =$
Размеры, мм	
- элемента, Б1	$b =$ $h =$
- элемента, Б2	$b =$ $h = t_1 + t_2 =$
Модуль упругости древесины, МПа	$E_0 = \frac{23 \cdot \Delta F \cdot l_d^3}{108 \cdot b \cdot h^3 \cdot \Delta U_{cp}} =$
Максимальные теоретические напряжения при $F=1$ кН в цельном элементе Б1, МПа	$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_d} =$
Максимальные теоретические напряжения при $F=1$ кН в составном элементе Б2 (при отсутствии связей), МПа	$\sigma_{0,max} = \frac{M_{max}}{W_{d.c.}} =$
Поправочные коэффициенты для составного элемента Б2: - к моменту сопротивления - к моменту инерции	$k_w = \frac{\sigma_{ef}}{\sigma} =$ $k_i = \frac{U}{U_{ef}} =$
Требуемое количество связей на половине пролета составного элемента Б2	$n_n = \frac{M_{max} \cdot S_{br}}{I_{br} \cdot F_{V,Rd,min}} =$
Фактическое количество связей на половине пролета	$n_n =$

Используя эпюры экспериментальных значений (рисунки 4.4 и 4.5) определяют средние значения нормальных напряжений:

– для сечения цельного элемента Б1:

$$\sigma = \frac{|\sigma_c| + |\sigma_t|}{2} = \quad , \text{ где } \sigma_c \text{ и } \sigma_t \text{ – значение нормальных напряжений}$$

в сечении 1 и 4 соответственно (см. рисунок 4.3а);

– для сечения составного элемента Б2:

$$\sigma_{ef} = \frac{|\sigma_1| + |\sigma_2| + |\sigma_3| + |\sigma_4|}{4} = \quad , \text{ где } \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \text{ и } \sigma_4 \text{ – значение}$$

нормальных напряжений в сечении 5, 10 и по плоскости соединения элементов балки (см. рисунок 4.3б и 4.5).

Определяют характеристические значения несущей способности гвоздя в соединении $F_{V,Rk}$ по ниже приведенным формулам:

$$1) F_{V,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d =$$

$$2) F_{V,Rk} = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d =$$

$$3) F_{V,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

$$4) F_{V,Rk} = 1,05 \cdot \frac{f_{h1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) \cdot \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

$$5) F_{V,Rk} = \frac{1,05 \cdot f_{h1,k} \cdot t_2 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h1,k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

$$6) F_{V,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

=

где $f_{h1,k} = f_{h2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} =$

характеристическое значение сопротивления древесины вдавливаю гвоздя плашмя для элемента t_l , таблица 9.5[1];

$\rho_k = 370 \text{ кг/м}^3$ – характеристическое значение плотности древесины пиломатериала для класса прочности C27, таблица 6.2[1];

t_l – толщина элемента в который забивается гвоздь;

t_2 – величина забитой части гвоздя с острием;

d – диаметр гвоздя;

$$\beta = \frac{f_{h2,k}}{f_{h1,k}} =$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,Rk} \cdot t_{pen} \cdot d =$$

характеристическое значение несущей способности гвоздя при его выдергивании из элемента соединения, формула (9.72)[1];

$$f_{ax,Rk} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 =$$

характеристическое значение сопротивления гвоздя выдергиванию из древесины;

$t_{pen} = t_2$ – расчетная длина защемленной части гвоздя со стороны острия;

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_u \cdot d^{2,6} =$$

характеристическое значение момента, вызывающего образование пластического шарнира в поперечном сечении гвоздя, формула 9.32 таблицы 9.4[1];

$$f_u = 600 \text{ Н/мм}^2 \text{ - прочность материала гвоздя на растяжение.}$$

Минимальное расчетное значение несущей способности гвоздя равно:

$$F_{V,Rk \min} =$$

Минимальное расчетное значение несущей способности гвоздя определяется по формуле:

$$F_{V,Rd,\min} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{V,Rk,\min}}{\gamma_M} =$$

где $k_{\text{mod}} = 0,6$ – коэффициент модификации, таблица 5.4 [1];

$$\gamma_M = 1,3 \text{ – частный коэффициент свойств материала, таблица 5.6 [1].}$$

Вычисленное значение $F_{V,Rd,\min}$ подставляется в формулу таблицы 4.3 для определения требуемого количества гвоздей в соединении.

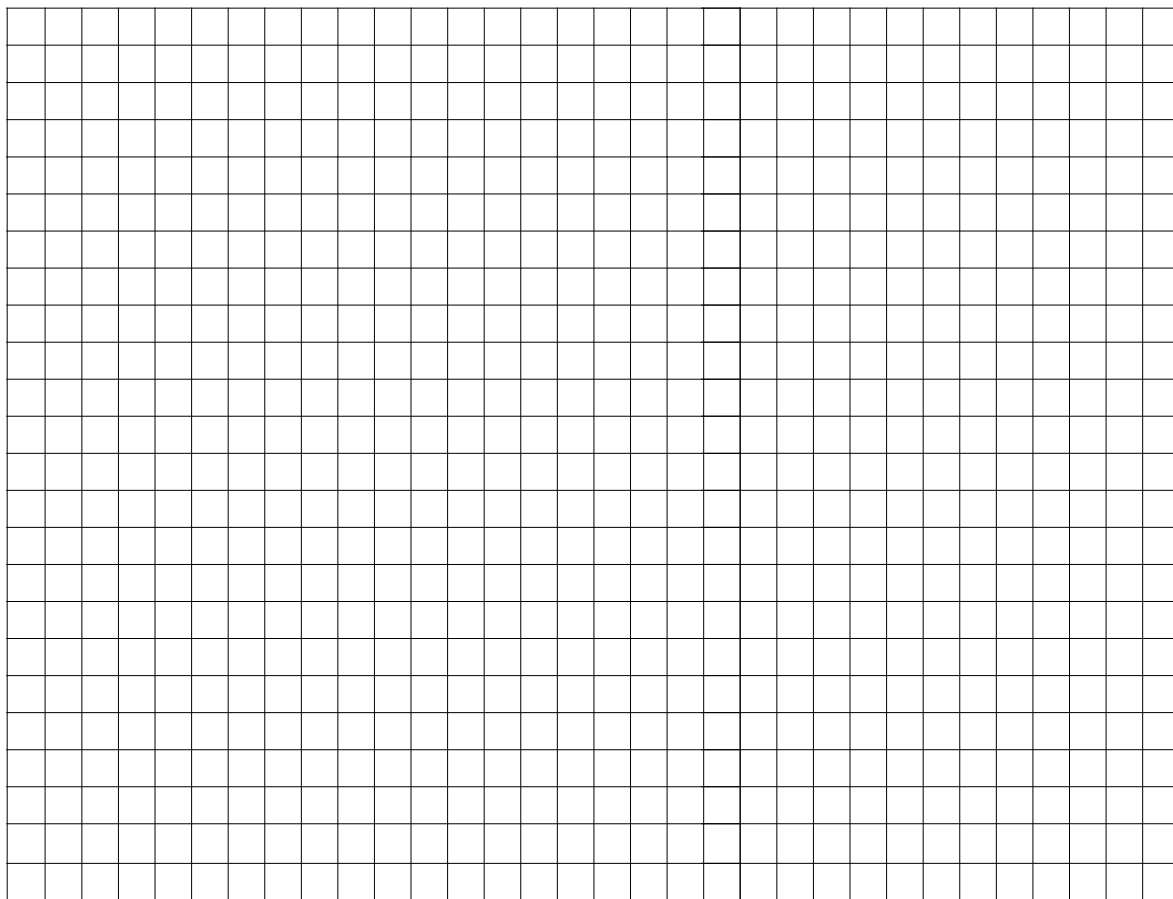


Рисунок 4.4 – Распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента Б1

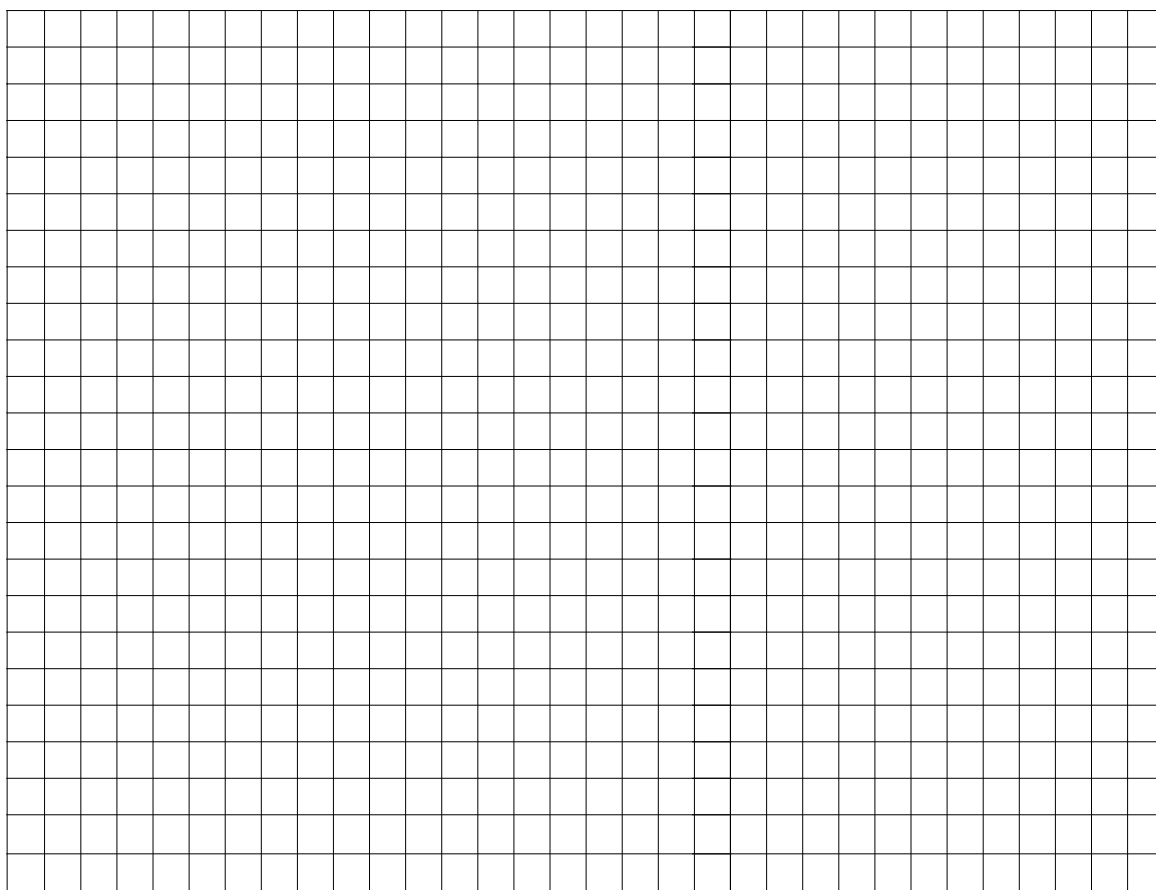
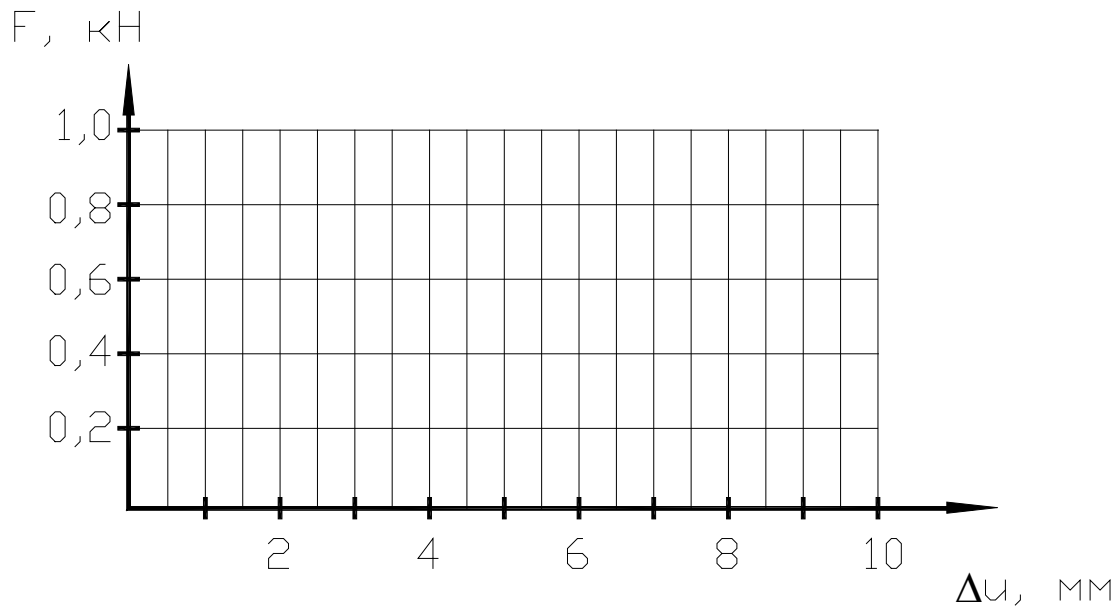


Рисунок 4.5 – Распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения элемента Б2



а) – для балки цельного сечения; б) – для балки составного сечения
Рисунок 4.6 – Зависимость деформаций от нагрузки

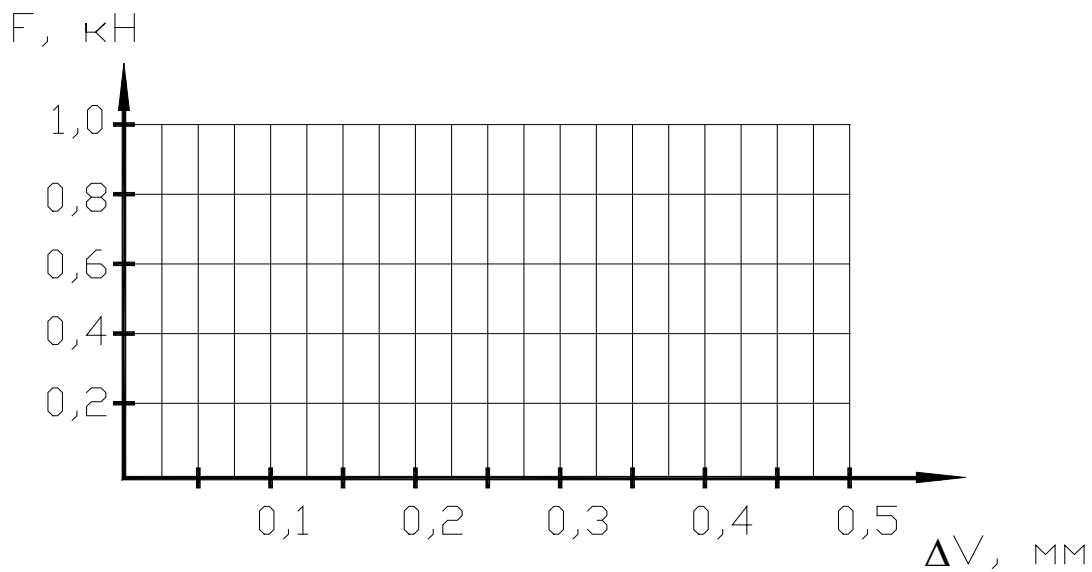


Рисунок 4.7 – Зависимость деформаций сдвига от нагрузки

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. Почему прогиб балки составного сечения больше, чем балки цельного сечения?
2. В чем заключается особенность расчета балки составного сечения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИСПЫТАНИЕ КЛЕЕФАНЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ

I. Общие сведения

Клееные конструкции, состоящие из деревянных элементов и фанеры, называются дощатофанерными. Такие конструкции могут быть несущими (балки, арки, рамы) и ограждающими (плиты, щиты).

Дощатофанерные плиты и щиты состоят из продольных ребер и фанерных обшивок, соединенных на клею в одно целое и образующих коробчатое или тавровое сечение. Дощатофанерные плиты применяются в отапливаемых зданиях и состоят из двух обшивок (верхней и нижней), пространство между которыми заполняется утеплителем. Дощатофанерные щиты применяются в неотапливаемых зданиях и состоят только из одной (верхней) обшивки, на которую наклеивается рулонная кровля (рисунок 5.1).

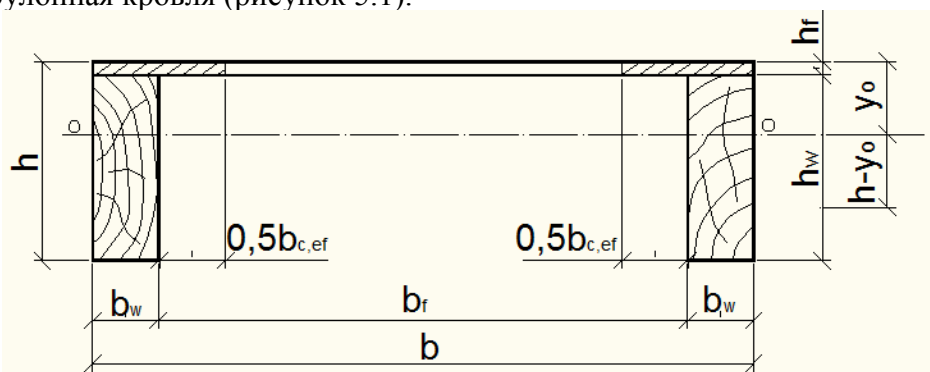


Рисунок 5.1 – Дощатофанерный элемент

Расчет дощатофанерных конструкций производится в предположении жесткого соединения фанерных обшивок с деревянными ребрами (без учета податливости клеевого шва). Поскольку материалы ребер (древесина хвойных пород) и обшивок (обычно березовая фанера) отличаются по своим физико-механическим характеристикам, то расчет выполняется по приведенным геометрическим характеристикам. Все характеристики приводятся к материалу сжатой обшивки, как наиболее напряженного элемента.

В соответствии с правилами, п.10.4.3[1] расчетную ширину поперечного сечения сжатой обшивки дощатофанерного элемента принимают с учетом неравномерного распределения нормальных напряжений по ширине обшивки и обеспечения её устойчивости:

$$b_{f,c} = 2(b_w + 0,5 \cdot b_{c,ef}) =$$

где $b_{c,ef}$ – максимальное значение, принимаемое по таблице 10.3[1];

$$b_{c,ef} = 20 \cdot h_f =$$

Положение нейтральной оси сечения относительно верхней грани определяют из выражения:

$$y_0 = S_{ef} / A_{ef} =$$

где S_{ef} – приведенный статический момент элемента относительно верхней грани определяемый из выражения:

$$S_{ef} = S_p + \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) \cdot S_w = b_{f,c} \cdot \frac{h_f^2}{2} + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot 2 \cdot \left[b_w \cdot h_w \cdot \left(\frac{h_w}{2} + h_f \right) \right] =$$

=

A_{ef} – приведенная площадь сечения элемента, определяемая из выражения:

$$A_{ef} = A_f + \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) \cdot A_w = b_{c,ef} \cdot h_{ef} + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot 2 \cdot b_w \cdot h_w =$$

Приведенный момент инерции сечения элемента относительно нейтральной оси определяют из выражения:

$$I_{ef} = I_f + \left(\frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \right) \cdot I_w = \frac{b_{f,c} \cdot h_f^3}{12} + b_{f,c} \cdot h_f \cdot y_0^2 + \frac{E_{w,mean}}{E_{f,mean}} \cdot 2 \cdot \left[\frac{b_w \cdot h_w^3}{12} + b_w \cdot h_w \cdot \left(h - y_0 - \frac{h_w}{2} \right)^2 \right] =$$

=

Приведенные моменты сопротивления сечения будут равны:

– относительно верхней грани элемента:

$$W_{f,ef} = \frac{I_{ef}}{y_0} =$$

– относительно нижней грани элемента:

$$W_{w,ef} = \frac{I_{ef}}{h - y_0} =$$

II. Цель работы:

1. *Определить величину и характер распределения нормальных напряжений по высоте и ширине поперечного сечения элемента (экспериментально и теоретически).*
2. *Построить график прогиба элемента от испытательной нагрузки и сопоставить с теоретическим значением прогиба.*

III. Методика проведения испытаний

В работе проводится испытание дощатофанерного элемента, который является фрагментом дощатофанерного щита и состоит из двух продольных ребер и приклеенной к ним фанерной обшивки. Нагружение элемента осуществляется четырьмя сосредоточенными силами (рисунок 5.2), что эквивалентно равномерно распределенной нагрузке. Прогиб элемента посередине пролета определяется при помощи прогибомеров П1 и П2. Относительные деформации по сечению элемента в средней части определяются при помощи тензорезисторов. Схема расстановки тензорезисторов приведена на рисунке 5.3. Нагружение элемента осуществляется ступенями $\Delta F=0,4$ кН и доводится до максимальной нагрузки $F=1,2$ кН, что соответствует упругой области работы элемента. На нулевой и последней ступени нагружения снимаются показания тензорезисторов и заносятся в таблицу 5.1. Отсчеты по прогибомерам снимаются на каждой ступени нагружения и заносятся в таблицу 5.2.

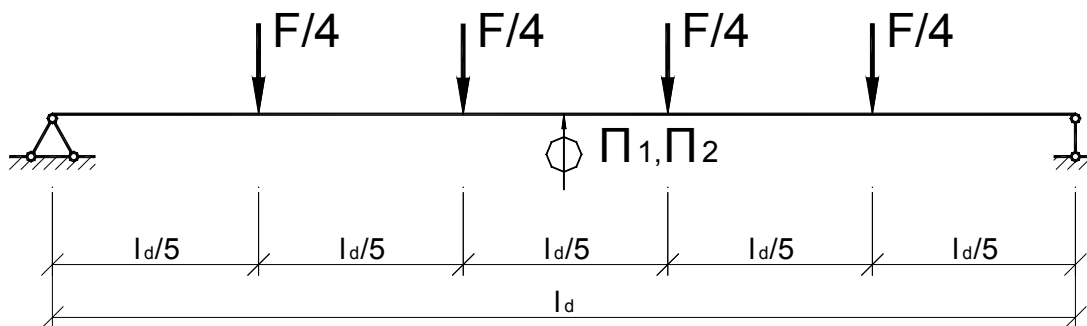


Рисунок 5.2 – Схема испытания дощатофанерного элемента

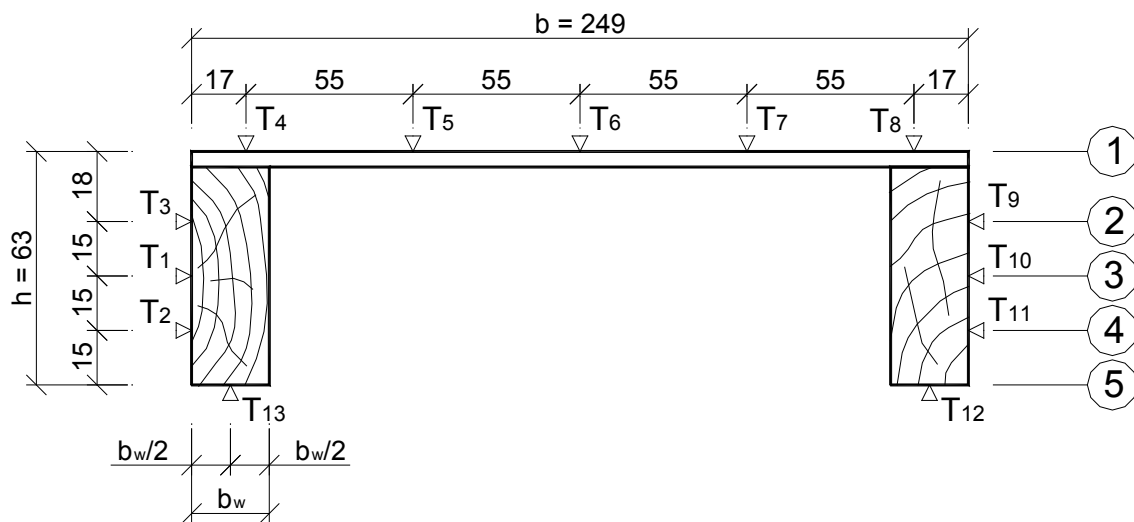


Рисунок 5.3 – Схема расстановки тензорезисторов

IV. Обработка результатов испытаний

Для определения нормальных напряжений принимаются среднее значение модуля упругости вдоль волокон для древесины $E_{w,mean} = 11000 \text{ Н/мм}^2$ (МПа) и модуль упругости вдоль волокон для фанеры $E_{f,mean} = 9000 \text{ Н/мм}^2$ (МПа).

В таблице 5.2 значение Δu_1 и Δu_2 определяются как приращения по отношению к нулевой ступени нагружения. По значениям нормальных напряжений (экспериментальные – таблица 5.1, теоретические – таблица 5.3) строятся эпюры распределения нормальных напряжений по высоте и ширине сечения дощатофанерного элемента, а по значениям деформаций графики прогибов (таблица 5.2, графа 6 и таблица 5.3).

Таблица 5.1 – Показания тензорезисторов

№№ тензорезисторов	T, $\times 10^{-5}$			Сечения элементов	Относительные деформации $\varepsilon, \times 10^{-5}$	Нормальные напряжения $\sigma_i = \varepsilon \cdot E_{mean}$, МПа
	при F = 0	при F = 1,2 кН	ΔT			
1	2	3	4	5	6	7
T ₁				1		
T ₂				2		
T ₃				3		
T ₄				4		
T ₅				5		
T ₆						
T ₇						
T ₈						
T ₉						
T ₁₀						
T ₁₁						
T ₁₂						
T ₁₃						

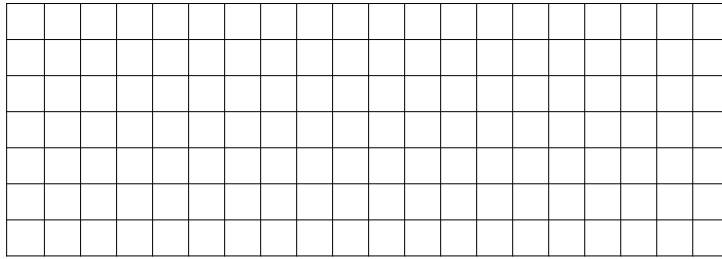
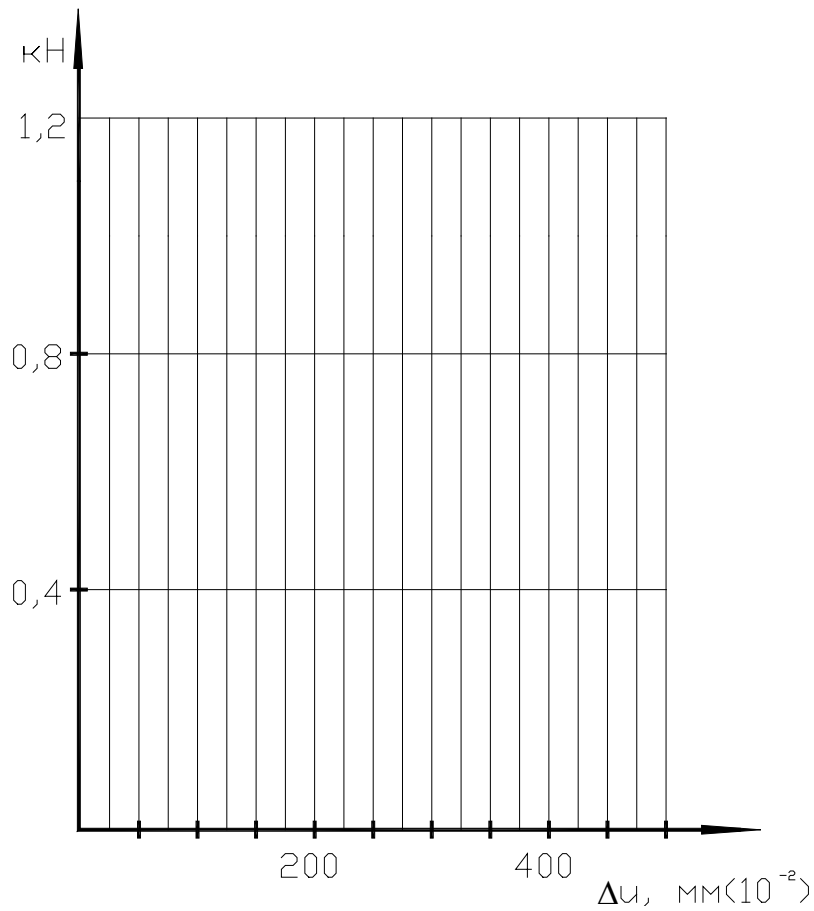


Рисунок 5.5 – Распределение нормальных напряжений по ширине сечения дощатофанерного элемента



а) экспериментальные; б) теоретические

Рисунок 5.6 – Зависимость деформаций от нагрузки

Выводы:

Вопросы для самоподготовки

1. В чем заключаются особенности расчета дощатофанерных конструкций?
2. Почему нормальные напряжения по ширине обшивки распределяются неравномерно?

Литература

1. Деревянные конструкции. Строительные правила Республики Беларусь. СП 5.05.01-2021. – Введ. 01.06.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 115с.
2. Конструкции из дерева и пластмасс: учеб. для вузов / Ю.В.Слицкоухов [и др.]; под ред. Г.Г.Карлсена и Ю.В.Слицкоухова.-5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986.– 543 с.
3. Стандарт университета. Оформление материалов курсовых и дипломных проектов (работ), отчетов по практике. Общие требования и правила оформления: СТ БГТУ 01-2008. Брест, 2008. – 46 с.
4. Боровиков, А.М. Справочник по древесине: справочник / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев; под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с.
5. Михайличенко, А.Л. Древесиноведение и лесное товароведение / А.Л Михайличенко, Ф.П. Садовничий. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1978. – 224 с.
6. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1980. – 40 с.
7. Рекомендации по методам испытаний древесных плит для строительства / ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1986. – 49 с.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1 Перечень вопросов к зачету

1. Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций.
2. Основные виды храмов, построенные с использованием деревянных конструкций.
3. Примеры современных зданий и сооружений, построенных с использованием деревянных конструкций как в нашей республике, так и за рубежом.
4. Видные ученые и инженеры, которые внесли существенный вклад в развитие теории расчета и применения деревянных конструкций.
5. Этапы развития конструктивных форм деревянных конструкций.
6. Влажность древесины и ее влияние на прочностные и упругие характеристики.
7. Влияние температуры на прочность древесины.
8. Физические свойства древесины.
9. Химическая стойкость древесины.
10. Огнестойкость древесины.
11. Гниение древесины. Меры борьбы с гниением древесины.
12. Достоинства и недостатки древесины.
13. Конструкционные строительные пластмассы.
14. Достоинства и недостатки конструкционные строительных пластмасс.
15. Способы защиты древесины от возгорания, биологического повреждения и коррозии.
16. Коррозия и защита деревянных конструкций.
17. Макроструктура древесины.
18. Микроскопическое строение древесины.
19. Прочностные и деформативные свойства древесины.
20. Длительная прочность древесины.
21. Диаграммы деформирования (ползучести) древесины при длительном действии постоянных напряжений.
22. Предельные состояния несущей способности.
23. Предельные состояния эксплуатационной пригодности.
24. Классификация воздействий.
25. Классы эксплуатации деревянных конструкций в зависимости от температурно-влажностных условий.
26. Классы продолжительности действия нагрузок при определении длительной прочности древесины.
27. Расчетное значение механического свойства древесины.
28. Расчетное значение механического свойства пластмасс.
29. Расчетные значения упругих характеристик древесины.
30. Коэффициенты модификации и ползучести древесины.
31. Цельная древесина (бревна, брусья, доски). Классы прочности пиломатериалов.
32. Многослойная массивная клееная древесина. Классы прочности.

33. Слоистая клееная древесина из шпона (LVL). Геометрические параметры и область применения.
34. Клееная фанера (достоинства и недостатки, область применения, классы прочности).
35. Плиты с ориентированным расположением стружки (OSB). Типы ОСП, достоинства и недостатки. Область применения ОСП и их свойства.
36. Древесностружечные плиты (ДСП). Достоинства и недостатки. Область применения ДСП и их свойства.
37. Цементно-стружечные плиты (ЦСП) и их марки. Область применения ЦСП и их свойства.
38. Древесноволокнистая плиты (ДВП), их классификация, область применения и свойства.
39. Гипсокартонные и гипсоволокнистые плиты (ГКЛ и ГВЛ). Область их применения и свойства.
40. Методы определения прочностных и упругих характеристик древесины.
41. Определение класса прочности древесины.
42. Расчет центрально-растянутых элементов.
43. Расчет центрально-сжатых элементов.
44. Проверка опорных площадок элементов, подверженных сжатию под углом α к волокнам.
45. Проверка опорных площадок элементов при смятии/сжатию древесины поперек волокон.
46. Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости.
47. Проверка устойчивости плоской формы деформирования изгибаемых элементов.
48. Проверка прочности древесины сдвигу в опорном сечении изгибаемого элемента.
49. Проверка прочности древесины в нормальных сечениях изгибаемого элемента (косой изгиб).
50. Сжато-изгибаемые и растянуто-изгибаемые элементы деревянных конструкций.
51. Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого сжатия и изгиба.
52. Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого растяжения и изгиба.
53. Основные виды соединений элементов деревянных конструкций.
54. Расчет и конструирование нагельных соединений. Сдвиговая способность одиночного нагеля.
55. Виды разрушения нагельных соединений элементов из древесины или материалов на ее основе.
56. Сопротивление древесины при вдавливании нагеля плашмя.
57. Характеристическое значение пластического момента нагеля.
58. Конструктивные требования по расположению нагелей в соединении элементов.
59. Несущая способность одного среза нагеля.

60. Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля для соединений с одной плоскостью сдвига на один срез нагеля.

61. Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях элементов из древесины или материалов на ее основе при сдвиге по направлению волокон.

62. Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальной толстой пластины с элементом из древесины.

63. Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальных тонких боковых пластин с элементом из древесины.

64. Характеристическое значение несущей способности одиночного нагеля (гвоздя, винта, болта, дюбеля) при его выдергивании из древесины соединяемого элемента.

3.2 Перечень вопросов к экзамену

1. Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций.
2. Основные виды храмов, построенные с использованием деревянных конструкций.
3. Примеры современных зданий и сооружений, построенных с использованием деревянных конструкций как в нашей республике, так и за рубежом.
4. Видные ученые и инженеры, которые внесли существенный вклад в развитие теории расчета и применения деревянных конструкций.
5. Этапы развития конструктивных форм деревянных конструкций.
6. Влажность древесины и ее влияние на прочностные и упругие характеристики.
7. Влияние температуры на прочность древесины.
8. Физические свойства древесины.
9. Химическая стойкость древесины.
10. Огнестойкость древесины.
11. Гниение древесины. Меры борьбы с гниением древесины.
12. Достоинства и недостатки древесины.
13. Конструкционные строительные пластмассы.
14. Достоинства и недостатки конструкционные строительных пластмасс.
15. Способы защиты древесины от возгорания, биологического повреждения и коррозии.
16. Коррозия и защита деревянных конструкций.
17. Макроструктура древесины.
18. Микроскопическое строение древесины.
19. Прочностные и деформативные свойства древесины.
20. Длительная прочность древесины.
21. Диаграммы деформирования (ползучести) древесины при длительном действии постоянных напряжений.
22. Предельные состояния несущей способности.
23. Предельные состояния эксплуатационной пригодности.
24. Классификация воздействий.

25. Классы эксплуатации деревянных конструкций в зависимости от температурно-влажностных условий.
26. Классы продолжительности действия нагрузок при определении длительной прочности древесины.
27. Расчетное значение механического свойства древесины.
28. Расчетное значение механического свойства пластмасс.
29. Расчетные значения упругих характеристик древесины.
30. Коэффициенты модификации и ползучести древесины.
31. Цельная древесина (бревна, брусья, доски). Классы прочности пиломатериалов.
32. Многослойная массивная клееная древесина. Классы прочности.
33. Слоистая клееная древесина из шпона (LVL). Геометрические параметры и область применения.
34. Клееная фанера (достоинства и недостатки, область применения, классы прочности).
35. Плиты с ориентированным расположением стружки (OSB). Типы ОСП, достоинства и недостатки. Область применения ОСП и их свойства.
36. Древесностружечные плиты (ДСП). Достоинства и недостатки. Область применения ДСП и их свойства.
37. Цементно-стружечные плиты (ЦСП) и их марки. Область применения ЦСП и их свойства.
38. Древесноволокнистая плиты (ДВП), их классификация, область применения и свойства.
39. Гипсокартонные и гипсоволокнистые плиты (ГКЛ и ГВЛ). Область их применения и свойства.
40. Методы определения прочностных и упругих характеристик древесины.
41. Определение класса прочности древесины.
42. Расчет центрально-растянутых элементов.
43. Расчет центрально-сжатых элементов.
44. Проверка опорных площадок элементов, подверженных сжатию под углом α к волокнам.
45. Проверка опорных площадок элементов при смятии/сжатию древесины поперек волокон.
46. Расчет элементов, изгибаемых в одной плоскости.
47. Проверка устойчивости плоской формы деформирования изгибаемых элементов.
48. Проверка прочности древесины сдвигу в опорном сечении изгибаемого элемента.
49. Проверка прочности древесины в нормальных сечениях изгибаемого элемента (косой изгиб).
50. Сжато-изгибаемые и растянуто-изгибаемые элементы деревянных конструкций.
51. Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого сжатия и изгиба.

52. Расчет элементов, воспринимающих совместное действие осевого растяжения и изгиба.
53. Основные виды соединений элементов деревянных конструкций.
54. Расчет и конструирование нагельных соединений. Сдвиговая способность одиночного нагеля.
55. Виды разрушения нагельных соединений элементов из древесины или материалов на ее основе.
56. Соппротивление древесины при вдавливании нагеля плашмя.
57. Характеристическое значение пластического момента нагеля.
58. Конструктивные требования по расположению нагелей в соединении элементов.
59. Несущая способность одного среза нагеля.
60. Характеристическое значения несущей способности одного среза нагеля для соединений с одной плоскостью сдвига на один срез нагеля.
61. Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединениях элементов из древесины или материалов на ее основе при сдвиге по направлению волокон.
62. Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальной толстой пластины с элементом из древесины.
63. Характеристическое значение несущей способности одного среза нагеля в соединении стальных тонких боковых пластин с элементом из древесины.
64. Характеристическое значение несущей способности одиночного нагеля (гвоздя, винта, болта, дюбеля) при его выдергивании из древесины соединяемого элемента.
65. Определение расчетного значения несущей способности нагельного соединения.
66. Соединение элементов деревянных конструкций с использованием винтов. Типы винтов и конструктивные решения узловых соединений.
67. Требования к узловым соединениям элементов деревянных конструкций с использованием винтов.
68. Расчет узловых соединений с винтами, воспринимающими осевое растяжение.
69. Расчет узловых соединений с винтами, воспринимающими осевое сжатие.
70. Расчет узловых соединений с винтами, воспринимающими сдвиг.
71. Расчет узловых соединений с винтами, воспринимающими совместное действие осевого и сдвигающего усилий.
72. Соединение элементов деревянных конструкций с использованием клеенных стержней. Типы стержней и конструктивные решения узловых соединений.
73. Общие требования к узловым соединениям элементов деревянных конструкций с использованием клеенных стержней.
74. Соединения на стержнях, клеенных вдоль волокон.
75. Соединения на стержнях, клеенных под углом к волокнам древесины.
76. Общие требования к настилам и обрешеткам.

77. Проверка предельных состояний несущей способности настила и обрешетки.
78. Проверка предельных состояний эксплуатационной пригодности настила и обрешетки.
79. Деревянные прогоны и их классификация.
80. Проверка предельных состояний несущей способности прогонов.
81. Проверка предельных состояний эксплуатационной пригодности прогонов.
82. Плоскостные сплошные деревянные конструкции. Основные формы и схемы плоскостных сплошных конструкций.
83. Деревянные балки. Область применения деревянных балок и основные правила конструирования.
84. Проверка предельных состояний несущей способности деревянных балок.
85. Проверка предельных состояний эксплуатационной пригодности деревянных балок.
86. Трехшарнирные деревянные рамы (схемы, классификация, геометрические параметры, нагрузки, область применения).
87. Проверка предельных состояний несущей способности трехшарнирных деревянных рам.
88. Конструктивные решения узловых соединений трехшарнирных деревянных рам и их расчет.
89. Деревянные арки (схемы, классификация, геометрические параметры, нагрузки, область применения).
90. Проверка предельных состояний несущей способности деревянных арок.
91. Конструктивные решения узловых соединений деревянных арок и их расчет.
92. Деревянные формы. Основные формы и параметры деревянных ферм.
93. Прямоугольные деревянные фермы. Основные правила конструирования и расчета.
94. Трапециевидные и треугольные фермы. Основные правила конструирования и расчета.
95. Сегментные и линзообразные фермы. Основные правила конструирования и расчета.
96. Конструктивные решения узлов ферм и их расчет.
97. Расчет предельных состояний несущей способности ферм.
98. Деформации ползучести древесины.
99. Проектирование деревянных конструкций с учетом обеспечения эксплуатационной пригодности.
100. Пространственные деревянные конструкции их достоинства/недостатки и область применения.
101. Балочные клетки.
102. Деревянные структурные плиты.
103. Ребристые складки.
104. Оболочки.

105. Своды.
106. Сферические купола-оболочки (тонкостенные и ребристые).
107. Кружально-сетчатые купола из сомкнутых сводов.
108. Характеристические и расчетные значения прочностных и упругих характеристик конструкционных пластмасс.
109. Пневматические конструкции.
110. Материалы для пневматических конструкций (пленки, ткани, синтетические клеи).
111. Особенности расчета пневматических конструкций.
112. Изготовление деревянных клееных конструкций.
113. Монтаж деревянных конструкций.
114. Дефекты и повреждения деревянных конструкций, возникающие в процессе их эксплуатации.
115. Усиление деревянных конструкций.

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор БрГТУ

_____ А.М.Омельянюк

« » _____ 2019 г.

Регистрационный № УД- _____ /уч.

Конструкции из дерева и пластмасс

Учебная программа для специальности:

1-70 02 01 Промышленное и гражданское строительство

2019 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта

(название образовательного стандарта,

ОСВО 1-70 02 01 – 2013, утверждённого постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08. 2013 г. №88 и учебных планов специальности 1 -70 02 01 ПГС
типовой учебной программы, дата утверждения, регистрационный номер)

СОСТАВИТЕЛЬ:

Захаркевич И.Ф., доцент кафедры «Строительные конструкции», к.т.н., доцент

Жук В.В., доцент кафедры «Строительные конструкции», к.т.н., доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ :

Деркач В.Н., директор филиала РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г.Брест, д.т.н., доцент

Черноиван В.Н., профессор кафедры «Технологии строительного производства», к.т.н., профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Строительные конструкции»

(название кафедры-разработчика программы)

(протокол № 6 от 23.12.2019);

Методической
комиссией строительного факультета

(название факультета)

(протокол № ___ от _____);

Председатель Юськович В.И.

(ФИО,подпись)

Советом Брестского государственного технического университета

(протокол № ___ от _____);

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

В современном строительстве наряду с железобетонными и металлическими конструкциями применяются деревянные и пластмассовые, которым в последнее время уделяется большое внимание в связи с возможностью их эксплуатации в условиях химически агрессивной среды, а также с необходимостью снижения массы зданий и сооружений, жесткой экономии стали и других дефицитных материалов. Большие сырьевые запасы деловой древесины и наличие производств по синтезу полимерных материалов позволяют создать в нашей республике индустриальную базу по производству деревянных и пластмассовых конструкций.

«Конструкции из дерева и пластмасс» - инженерная дисциплина, в которой рассматриваются вопросы методики расчета и проектирования элементов конструкций из дерева и пластмасс.

Программа дисциплины предназначена для студентов специальности 1-70 02 71 Промышленное и гражданское строительство.

1.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины: дать студентам знания, необходимые для понимания работы конструктивных элементов и систем; развить навыки инженерного анализа, расчета и конструирования строительных конструкций из древесины и пластмасс; подготовить студентов к профессиональной деятельности для проектирования и возведения зданий и сооружений с применением строительных конструкций из древесины и пластмасс.

В результате освоения дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» студент должен

знать:

- физико-механические свойства древесины;
- виды пластмасс, применяемых в строительстве;
- способы защиты древесины от возгорания и биоповреждений;
- принципы расчёта и конструирования деревянных и пластмассовых конструкций;
- основные виды конструкций из дерева и пластмасс, в том числе пневмоконструкций;
- основы технологии изготовления деревянных конструкций;
- основы эксплуатации, обследования и усиления деревянных конструкций;

уметь:

- выбирать рациональный вид деревянных конструкций;
- грамотно выполнять расчёт и конструирование деревянных конструкций;
- правильно выбирать при проектировании вид пластмассы;
- обосновывать технологию изготовления и монтажа деревянных конструкций;

владеть:

- методиками расчёта деревянных конструкций зданий и сооружений;
- методикой обследования деревянных конструкций;

- методикой разработки проекта усиления деревянных конструкций или их защиты от возгорания и биоповреждений.

В соответствии с учебными планами на изучение учебной дисциплины «Конструкции из дерева и пластмасс» распределение часов по видам учебных занятий и по семестрам следующее:

Курс	Семестр	Общее количество часов по плану (з.е.)		Количество аудиторных часов			Неуправляемая самостоят. работа	Форма текущей аттестации
		Всего	аудиторных	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
<i>Дневная форма получения высшего образования</i>								
3	6	48 (1,5 з.е.)	32	16	-	16	16	Зачет
4	7	144 (3,5 з.е.)	48	32	16	-	96	Экзамен
4	7	60 (1,5 з.е.)						Курсовой проект
Всего:		192+60 <i>курс.проект.</i> (6,5 з.е.)	80	48	16	16	112	
<i>Заочная (сокращенная) форма получения образования</i>								
3	6	54 (1,5 з.е.)	8	2	-	6	46	Зачет
4	7	138 (3,5 з.е.)	10	4	6	-	128	Экзамен Контрольная работа
4	7	60 (1,5 з.е.)						Курсовой проект
Всего:		192+60 <i>курс.проект.</i> (6,5 з.е.)	18	6	6	6	174	
<i>Заочная форма получения образования</i>								
5	9	62 (1,5 з.е.)	10	6	2	2	44	Зачет
5	10	130 (3,5 з.е.)	10	6	2	2	128	Экзамен
5	10	60 (1,5 з.е.)						Курсовой проект
Всего:		192+60 <i>курс.проект.</i> (6,5 з.е.)	20	12	4	4	172	Курсовой проект

2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

2.1. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Введение. Древесины и пластмассы как конструкционные материалы.

Физико-механические свойства древесины. Способы защиты древесины от возгорания и биоповреждений. Физико-механические свойства конструкционных пластмасс.

Тема 2. Расчет элементов конструкций из древесины и пластмасс.

Принципы расчета деревянных и пластмассовых конструкций по предельным состояниям. Воздействия на деревянные конструкции. Расчет элементов конструкций цельного сечения на прочность и устойчивость.

Тема 3. Сопряжение элементов конструкций из древесины и пластмасс.

Расчет сопряжений элементов конструкций на лобовых врубках, шпонках, нагелях, растянутых связях. Клеевые соединения. Расчет элементов конструкций составного сечения на податливых связях.

Тема 4. Деревянные конструкции сплошного сечения.

Расчет и конструирование балок, панелей, колонн, арок.

Тема 5. Стропильные фермы.

Классификация ферм. Расчет и конструктивные решения сегментных, многоугольных, трапециевидных, треугольных ферм.

Тема 6. Обеспечение пространственной неизменяемости плоских конструкций.

Виды связей. Правила их проектирования и расстановки.

Тема 7. Пространственные конструкции из дерева и пластмасс.

Основные формы пространственных конструкций из древесины и пластмасс. Области применения, принципы расчета и проектирования.

Тема 8. Технология изготовления деревянных и пластмассовых конструкций.

Основные стадии технологического процесса изготовления конструкций из цельной и клееной древесины.

Тема 9. Основы эксплуатации конструкций из дерева и пластмасс.

Требования по обеспечению нормальной эксплуатации конструкций из дерева и пластмасс.

2.2. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Расчет элементов деревянных конструкций.

Определение расчетных сопротивлений древесины в соответствии с действующими нормами РБ и Европейскими нормами. Расчет деревянных элементов по нормам РБ и европейским нормам на центральное растяжение и сжатие, поперечный изгиб, сжатие и растяжение с изгибом.

Тема 2. Расчёт соединений элементов деревянных конструкций.

Расчёт соединений деревянных элементов на лобовых врубках. Расчёт нагельных соединений по нормам РБ и Европейским нормам.

Тема 3. Расчёт плит покрытия.

Расчёт и конструирование ребристых плит с древесно-плитными обшивками. Расчёт и конструирование трёхслойных плит сплошного сечения с применением пластмасс.

Тема 4. Расчёт деревянных балок.

Расчёт и конструирование клеёдошчатых, армированных и клеёфанерных балок.

2.3. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Определение модуля упругости и предела прочности древесины при статическом изгибе.

Ознакомление с методикой определения механических характеристик древесины и с приборами при испытаниях. Оформление отчета и устные ответы на тестовые вопросы.

Тема 2. Определение условного предела прочности древесины при сжатии поперек волокон.

Определение условного предела прочности древесины при сжатии по всей поверхности и при местном сжатии поперек волокон. Оформление отчета и устные ответы на тестовые вопросы.

Тема 3. Испытание древесноплитных материалов.

Определение модуля упругости и предела прочности строительной фанеры и древесностружечной плиты при статическом изгибе. Оформление отчета и устные ответы на тестовые вопросы.

Тема 4. Испытание соединений деревянных элементов на механических связях.

Определение максимальной несущей способности соединения, характера и величины деформации. Построение графика зависимости деформации сдвига от нагрузки. Оформление отчета и устные ответы на тестовые вопросы.

Тема 5. Испытание составного элемента на податливых связях на статический изгиб.

Определение величины и характера распределения нормальных напряжений по высоте поперечного соединения цельного и составного элементов. Построение графиков прогибов элементов, графика сдвига составного элемента. Определение требуемого количества связей для составного элемента и коэффициентов k_w , k_j . Оформление отчета и устные ответы на тестовые вопросы.

Тема 6. Испытание клеёфанерного элемента на статический изгиб. Определение величины и характера распределения нормальных напряжений по высоте и ширине поперечного сечения клеёфанерного элемента (экспериментально и теоретически). Построение графика прогиба клеёфанерного элемента от испытательной нагрузки и сопротивления с теоретическим значением. Оформление отчета и устные ответы на тестовые вопросы.

3. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ.

В рамках изучения дисциплины, в соответствии с учебным планом, программой предусмотрено выполнение курсового проекта на тему «Одноэтажное каркасное здание» в объеме 60 (1,5 з.е.)

Цель курсового проектирования: дать студентам практические навыки по расчету и проектированию конструкций из дерева и пластмасс.

Состав курсового проекта:

СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА
Реферат	–
Введение	–
Расчет и конструирование ограждающих конструкций покрытия.	<i>Рабочие чертежи клефанерной плиты (щита) или дощатого настила и прогонов.</i>
Расчет и конструирование стропильной фермы.	<i>Рабочие чертежи металлодеревянной сегментной фермы.</i>
Расчет поперечной рамы здания. Расчет и конструирование колонны.	<i>Рабочие чертежи дощатоклееной колонны.</i>
Разработка связей по шатру и колоннам.	<i>Схема и спецификация связей</i>
Разработка мероприятий по защите деревянных конструкций от гниения и возгорания.	–

Примерный объем пояснительной записки должен составлять 35-40 страниц формата А4, объем графической части – 3 листа формата А2.

4. ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ.

(только для заочной сокращенной формы получения образования)

Объём работы и краткое содержание.

В рамках изучения дисциплины учебным планом для специальности 1- 70 02 01 Промышленное и гражданское строительство для заочной формы получения образования на основе среднего специального предусмотрено выполнение контрольной работы на тему «Чердачное покрытие здания».

Объём – 20-30 страниц пояснительной записки.

Студент должен выполнить:

- расчёт и конструирование обрешётки под кровлю;
- расчёт и конструирование элементов стропильной системы;
- разработку мероприятий по защите деревянных конструкций.

5. УПРАВЛЯЕМАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА.

В соответствии с учебным планом не предусмотрена.

6. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

- 6.1.1. Воздействия на строительные конструкции, здания и сооружения / В.В. Тур [и др.] под ред. В.В. Тура, А.Б. Шурина – Брест: Издательство БрГТУ, 2021, – 81 с.
- 6.1.2. СП 5.05.01-2021. Строительные правила РБ, Деревянные конструкции, Официальное издание Министерства архитектуры и строительства – 2021.
- 6.1.3. Конструкции из дерева и пластмасс / Учебн. Для вузов / Ю.В.Слицкоухов [и др.] – Москва: Стройиздат, 1986, – 543 с.
- 6.1.4. Конструкции из дерева и пластмасс / Учебн. Для вузов / М.М.Гапоев [и др.] – Москва: Издательство АСВ, 2004, – 440с.

6.2. Дополнительная литература

- 6.2.1. Конструкции из дерева и пластмасс / Учебн. пособие для вузов / Г.Н.Зубарёв [и др.]; под ред. Ю.Н.Хромец. – 3-е изд. – Москва: Academia, 2004. – 303с.
- 6.2.2. Калугин, А.В. Деревянные конструкции / Учебн. пособие / А.В. Калугин. – Москва: Издательство АСВ, 2003. – 224 с.
- 6.2.3. Индустриальные деревянные конструкции. Примеры проектирования / Учебн. пособие для вузов/ Ю.В.Слицкоухов [и др.]; под ред. Ю.В.Слицкоухова. – Москва: Стройиздат, 1991. – 256 с.
- 6.2.4. Руководство по проектированию клееных деревянных конструкций / ЦНИИСК им.Кучеренко. – Москва: Стройиздат, 1977. – 192 с.
- 6.2.5. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП 11-25-80) ЦНИИСК им.Кучеренко. – Москва: Стройиздат, 1986. – 216 с.
- 6.2.6. ТКП EN 1995-1-1-2009. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1 Общие правила и правила для зданий. Минск: РУП «Минсктипроект», 2010. – 98 с.

6.3. Перечень методических указаний

- 6.3.1. Справочные материалы для проектирования деревянных конструкций зданий и сооружений. – Брест БрГТУ, 2014. – 35 с.
- 6.3.2. Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной и заочной форм обучения. Брест, БрГТУ 2014. – 95 с.

6.4. Наглядные и методические пособия, оборудование, лабораторные установки к лабораторным работам.

- 6.4.1. Методических указания и журнал испытаний к проведению лабораторных работ по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дневной формы обучения.– Брест: БрГТУ, 2016. –27 с.
- 6.4.2. Компьютерный класс.
- 6.4.3. Машина разрывная Р-10.
- 6.4.4. Индикаторы ИИ-10.
- 6.4.5. Прогибомеры Максимова 6 ПАО.
- 6.4.6. Стенд для испытания составного элемента на податливых связях на статистический изгиб.
- 6.4.7. Стенд для испытания клефанерного элемента на статический изгиб.

5.5. Не управляемая самостоятельная работа.

Наименование тем и их краткое содержание.

Тема 1. Введение. Предмет и задачи курса.

Краткий исторический обзор развития конструкций из дерева и пластмасс.

Сырьевые запасы древесины. Современное состояние, перспективы развития и области применения в строительстве конструкций из дерева и пластмасс. (2 часа).

Тема 2. Древесина, древесные материалы и пластмассы как конструкционные материалы. Защита древесины в конструкциях от биологического повреждения, возгорания и коррозии.

Достоинства и недостатки древесины как строительного материала. Строение и физические свойства основных хвойных пород древесины. Пороки и дефекты древесины. Механические свойства древесины. Влияние различных факторов на её прочность и деформативность. Сортамент и требования к качеству строительных круглых и пиленых материалов из цельной древесины. Древесно-плитные материалы: фанера, древесно-стружечные, цементно-стружечные, древесно-волокнистые плиты, древесно-слоистые пластики. Пластмассы: состав, свойства, достоинства и недостатки. Конструкционные пластмассы в строительстве: виды, свойства, области применения. Процесс гниения древесины. Конструктивные и химические меры защиты древесины в конструкциях от загнивания. Защита древесины от насекомых древоточцев. Конструктивные и химические меры защиты от пожарной опасности. (8 часов).

Тема 3. Расчет элементов конструкций из древесины и пластмасс.

Основы расчета конструкций из дерева и пластмасс по методу предельных состояний по национальным нормативным документам. Расчетные сопротивления и коэффициенты условий работы древесины и пластмасс. Расчет элементов из цельной и клееной древесины на осевое растяжение, сжатие, поперечный и кривой изгиб, сжатие с изгибом, растяжение с изгибом. Расчет элементов на устойчивость плоской формы деформирования. Особенности расчета деревянных элементов по европейским нормам проектирования деревянных конструкций – Еврокоду 5. Особенности расчета элементов конструкций из пластмасс. (12 часов).

Тема 4. Соединения элементов конструкций из древесины и пластмасс.

Основные требования, предъявляемые к соединениям. Соединение лобовым упором и на лобовых врубках. Методика расчета и конструирования. Соединения на цилиндрических нагелях, болтах, гвоздях. Виды нагельных соединений, их работа и методика расчета. Соединения на пластинчатых нагелях, шпонках, колодках, шайбах, зубчатых пластинах. Соединения на растянутых гвоздях: болтах, тяжах, хомутах и т.п. Метод расчета. Гвозди и винты, работающие на выдергивание. Клеевые соединения. Виды соединений и клеев. Требования к древесине и клеям для клееных конструкций. Соединения на клеестальных шайбах. Вклеенные стержни. Принцип расчета и конструирования. Соединения элементов из пластмасс: на механических связях, сваркой, на клею, комбинированные. (8 часов).

Тема 5. Особенности расчета деревянных элементов составного сечения на податливых связях.

Податливость связей и ее влияние на распределение сдвигающих усилий по длине элементов, несущую способность и деформативность. Расчет составных деревянных элементов с учетом податливости связей на сжатие, поперечный и продольный изгиб, сжатие с изгибом. (2 часа).

Итого за семестр: 32 часа.

Тема 6. Настилы, обрешётки, прогоны.

Конструктивные решения настилов и обрешетки в покрытиях, их назначение. Расчет настилов и обрешетки. Виды прогонов, их конструктивное решение. Многопролетные прогоны: консольно-балочные и спаренные дощатогвоздевые. Расчет прогонов. (6 часов).

Тема 7. Плиты покрытия и стеновые панели.

Конструктивные решения ребристых плит покрытия и стеновых панелей с обшивками из листовых материалов (древесных и недревесных). Основные положения расчета плит покрытия. Трехслойные плиты и панели с применением пластмасс. Светопроницаемые плиты. Конструктивные решения и особенности расчета плит из пластмасс. (8 часов).

Тема 8. Стропильные системы в покрытиях.

Наслонные и висячие стропильные системы покрытий. Основные элементы стропильных систем. Принципы расчета и конструирования. (4 часа).

Тема 9. Деревянные балки.

Балки цельного сечения, составные брусчатые и дощатые. Конструктивные решения расчет балок. Клееные балки: дощатоклееные и клефанерные, дощатоклееные неармированные и армированные балки. Клефанерные балки с плоскими и волнистыми фанерными стенками. Конструктивные решения и основные положения расчета балок. (10 часов).

Тема 10. Стропильные фермы.

Классификация ферм по статической схеме, материалу элементов, очертанию поясов, типу решетки. Области применения ферм. Фермы деревянные и металлодеревянные, из цельной и клееной древесины. Конструктивные решения наиболее распространенных видов ферм: треугольных, многоугольных, сегментных и трапециевидных. Определение внутренних усилий и подбор сечения элементов ферм. Особенности расчета верхних поясов ферм: прямолинейных при внецентренном приложении продольного усилия и криволинейных. Конструктивные решения, работа и принципы расчета основных узлов ферм. (10 часов).

Тема 11. Колонны и стойки.

Виды колонн и стоек. Колонны и стойки цельнобрусчатые, составные брусчатые, дощатоклееные, решетчатые. Определение внутренних усилий и подбор сечения колонн и стоек. Конструктивные решения и принципы расчета колонн и стоек. (6 часов).

Тема 12. Арочные и рамные деревянные конструкции.

Классификация распорных систем треугольного очертания и арок по конструктивной схеме, очертанию, способу восприятия распора и материалу. Области их применения. Определение внутренних усилий и подбор сечения арок и распорных систем треугольного очертания. Особенности расчета арок и

систем треугольного очертания на устойчивость плоской формы деформирования. Конструкция, работа и принцип расчета основных узлов арок малых и больших пролетов. Классификация рам по конструктивной схеме и материалу. Рамы из прямолинейных элементов и гнутоклееные, бесконсольные и двухконсольные, с разборными и неразборными полурамами. Определение внутренних усилий и особенности подбора сечения различных типов рам. Особенности расчета рам на устойчивость плоской формы деформирования. Конструктивные решения и принципы расчета основных узлов рам. (8 часов).

Тема 13. Обеспечение пространственной неизменяемости плоскостных систем.

Обеспечение поперечной и продольной неизменяемости и устойчивости зданий и сооружений с плоскостными конструкциями. Виды связей, правила их расстановки. Внутренние усилия в элементах связей, принцип их расчета. (6 ч.).

Тема 14. Купола, своды, оболочки, структурные конструкции.

Основные формы пространственных конструкций из древесины и пластмасс, области применения. Купола: тонкостенные, ребристые, сетчатые. Сводь и оболочки: кружально сетчатые своды с косяками из цельной и клееной древесины, цилиндрические своды-оболочки, оболочки двойкой кривизны, гиперболические оболочки. Структурные конструкции в виде пространственных плит и оболочек из регулярно-пластинчатых образований. Принципы конструирования и основные положения расчета. (8 часов).

Тема 15. Пневматические строительные конструкции и тентовые покрытия.

Воздухоопорные и пневмокаркасные конструкции и их разновидности. Области применения, достоинства и недостатки. Материалы для конструкций. Принципы расчета и конструирования пневматических конструкций. Понятие о тентовых покрытиях. (6 часов)

Тема 16. Основные стадии и контроль качества изготовления конструкций.

Основные стадии технологического процесса изготовления конструкций из цельной и клееной древесины: сушка пиломатериалов, механическая обработка перед склеиванием, склейка с запрессовкой, механическая обработка клееных пакетов, защитная обработка, сборка изделий. Способы защитной обработки древесины химическими средствами от увлажнения, биохимического повреждения и возгорания. Контроль качества изготовления конструкций: входной контроль сырья и материалов, пооперационный контроль на всех стадиях технологического процесса, испытание готовых изделий. (6 часов).

Тема 17. Техничко-экономические показатели оценки конструкций.

Основные положения методики технико-экономической оценки конструкций. Понятие о методике определения материалоемкости, стоимости и приведенных затратах. (2 часа).

7. ТЕКУЩИЙ ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ.

7.2. Вопросы к итоговому контролю знаний (зачету) по дисциплине.

1. Что такое модуль упругости? Где он используется при расчете конструкций?
2. Что такое нормативное и расчетное сопротивление древесины и как они определяются?
3. Что характеризует коэффициент изменчивости и от чего он зависит?
4. Почему предел прочности при местном смятии выше, чем при сжатии по всей поверхности?
5. Приведите примеры работы древесины в конструкциях на местное смятие и сжатие по всей поверхности.
6. Как влияет соотношение количества шпонов, уложенных вдоль и поперек волокон, на величину характеристик прочности и жесткости фанеры?
7. Какое строение фанеры следует считать рациональным?
8. Какими преимуществами обладает фанера по сравнению с цельной древесиной?
9. Почему прочностные и упругие характеристики фанеры выше, чем у ДСП?
10. Как определяется расчетная несущая способность цилиндрического нагеля на один шов сплачивания в соединениях деревянных элементов?
11. Как располагаются нагели в соединениях деревянных элементов на гвоздях и болтах?
12. Почему прогиб балки составного сечения больше, чем балки цельного сечения?
13. В чем заключается особенность расчета балки составного сечения?
14. В чем заключаются особенности расчета клеефанерных конструкций?
15. Почему нормальные напряжения по ширине обшивки распределяются неравномерно?

7.3. Вопросы к итоговому контролю знаний (экзамену) по дисциплине.

1. Краткий исторический обзор развития деревянных конструкций.
2. Отечественный и зарубежный опыт применения клееных деревянных и пластмассовых конструкций в современном строительстве.
3. Физические и механические свойства древесины.
4. Общие сведения о пластмассах в строительстве.
5. Физико-механические характеристики пластмасс.
6. Лесоматериалы.
7. Строительная фанера, древесно-плитные материалы (сорта, марки, область применения).
8. Конструкционные пластмассы (виды, свойства, применение).
9. Защита деревянных конструкций от гниения и возгорания.
10. Основы расчета деревянных и пластмассовых элементов по предельным состояниям.

11. Нормативные и расчетные сопротивления древесины и пластмасс.
12. Центральное растяжение и сжатие деревянных и пластмассовых элементов.
13. Поперечный изгиб деревянных элементов. Косой изгиб.
14. Сжато- и растянуто изгибаемые деревянные и пластмассовые элементы.
15. Поперечный изгиб пластмассовых элементов.
16. Основные виды соединения ДК и требования к ним.
17. Соединения на лобовых врубках с одним и двойным зубом.
18. Соединения на призматических шпонках.
19. Соединения на цилиндрических и пластинчатых нагелях.
20. Соединения на растянутых связях и связях, работающих на выдергивание.
21. Соединения деревянных элементов на клею (виды клеев, технология склеивания, конструкция клеевых стыков).
22. Соединения пластмассовых элементов (склеивание, сварка - их виды, клеевинтовые и клеезаклепочные соединения).
23. Настилы и обрешетка для кровель.
24. Консольно-балочные и неразрезные системы прогонов.
25. Особенности расчета ДК составного сечения на упруго-податливых связях.
26. Центральное сжатие деревянных составных элементов на упруго-податливых связях.
27. Центральное сжатие деревянных составных элементов на упруго-податливых связях.
28. Поперечный изгиб деревянных составных элементов на упруго-податливых связях.
29. Сжато-изогнутые деревянные составные элементы на упруго-податливых связях.
30. Балки системы Деревягина.
31. Дощато-гвоздевые балки с перекрестной стенкой на гвоздях.
32. Дощато-клееные балки.
33. Клеефанерные балки с плоской и волнистой стенкой.
34. Армированные балки.
35. Клеефанерные панели покрытия.
36. Ограждающие конструкции с применением пластмасс.
37. Схемы и конструктивные решения панели с применением пластмасс.
38. Клееные деревянные арки.
39. Клееные деревянные рамы (двухшарнирные и трехшарнирные).
40. Клеефанерные рамы.
41. Типы стропильных деревянных ферм. Основы расчета и проектирования.
42. Сегментные клееные фермы.
43. Многоугольные брусчатые фермы.
44. Сборные фермы с прямолинейным верхним поясом (трапециевидные и треугольные).
45. Брусчатые и бревенчатые фермы на врубках.
46. Клееные колонны для промышленных зданий.

47. Обеспечение пространственной жесткости здания и сооружения.
48. Кружально-сетчатые своды.
49. Ребристые складки и своды-оболочки.
50. Сферические купола-оболочки (тонкостенные и ребристые).
51. Кружально-сетчатые купола из сомкнутых сводов.
52. Пневматические конструкции.
53. Материалы для пневматических конструкций (пленки, ткани, синтетические клеи).
54. Изготовление деревянных и пластмассовых конструкций в строительной промышленности.
55. Эксплуатация, ремонт и усиление деревянных конструкций.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Конструкции из дерева и пластмасс»

Дневная форма обучения

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	неуправляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Шестой семестр	16	–	16	16			ЗАЧЕТ
1	Введение. Дровесины и пластмассы как конструкционные материалы. (в т.ч. лабораторное занятия * 2 часа на тему 1: «Определение модуля упругости и предела прочности древесины при статическом изгибе» * 2 часа на тему 2: Определение условного предела прочности древесины при сжатии поперек волокон * 2 часа на тему 3: Испытание древесно-плитных материалов)	4		6			6.1.1 6.1.2	зачет
2	Расчет элементов конструкций из древесины и пластмасс. (в т.ч. лабораторные занятия * 2 часа на тему 2: Испытание соединений древянных элементов на механических связях).	6		2		6.4.1 6.4.3 6.4.4	6.1.1 6.1.2	зачет

3	<p>Сопряжение элементов конструкций из древесины и пластмасс (в т.ч. лабораторные занятия * 4 часа на <u>тему 5</u>: Испытание составного элемента на податливых связях на статический изгиб). * 4 часа на <u>тему 6</u>: Испытание клефанерного элемента на статический изгиб).</p>	6		8		6.4.1, 6.4.3 6.4.4, 6.4.6	6.1.1, 6.1.2	зачет
	Седьмой семестр	32	16	–	96			<i>Экзам Курс.пр.</i>
4	<p>Деревянные конструкции сплошного сечения. (в т.ч. практические занятия * 4 часа на <u>тему 1</u>: «Расчет элементов деревянных конструкций» * 2 часа на <u>тему 2</u>: «Расчёт соединений элементов деревянных конструкций» * 4 часа на <u>тему 3</u>: «Расчёт плит покрытия» * 2 часа на <u>тему 4</u>: «Расчёт деревянных балок»</p>	14	16			6.4.1, 6.4.3 6.4.4	6.1.1, 6.1.2	Курс.проект, экзамен
5	Стропильные фермы.	8				6.4.1, 6.4.4 6.4.5, 6.4.6	6.1.2	Курс.проект, экзамен
6	Обеспечение пространственной неизменяемости плоских конструкций.	2					6.1.2	Курс.проект, экзамен
7	Пространственные конструкции из дерева и пластмасс.	6				6.4.1 6.4.4		Курс.проект, экзамен
8	Технология изготовления деревянных и пластмассовых конструкций.	2					6.1.2	Курс.проект, экзамен
9	Основы эксплуатации конструкций из дерева и пластмасс.	2					6.1.1, 6.1.2 6.2.3, 6.2.4 6.2.5	Курс.проект, экзамен

Заочная (сокращенная) форма обучения

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Материальное обеспечение занятия (наглядные методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	неуправляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Шестой семестр	8	2	-	46			ЗАЧЕТ
1	Введение. Древесины и пластмассы как конструкционные материалы. (в т.ч. лабораторных занятия 2час на <i>тему 1</i> .)	2	2				6.1.1 6.1.2	зачет
2	Расчет элементов конструкций из древесины и пластмасс.	2				6.4.1, 6.4.3 6.4.4	6.1.1 6.1.2	зачет
3	Сопряжение элементов конструкций из древесины и пластмасс.	2				6.4.1, 6.4.3 6.4.4, 6.4.6	6.1.1, 6.1.2	зачет
	Седьмой семестр	4	6	-	128			Экзам. Курс.пр.
4	Деревянные конструкции сплошного сечения.	4	6	-		6.4.1 6.4.3 6.4.4	6.1.1 6.1.2	Курс.проект, экзамен

Заочная форма обучения

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия, перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Магериальное обеспечение занятия (наглядные методические пособия и др.)	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические (семинарские) занятия	лабораторные занятия	неуправляемая самостоятельная работа студента			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Восьмой семестр	6	2	2	52			ЗАЧЕТ
1	Введение. Древесины и пластмассы как конструкционные материалы.	2		2			6.1.1 6.1.2	зачет
2	Расчет элементов конструкций из древесины и пластмасс. (в т.ч. <i>практические занятия 1 час на тему 1: «Диаграммы деформирования»</i>)	2	2			6.4.1 6.4.3 6.4.4	6.1.1 6.1.2	зачет
3	Сопряжение элементов конструкций из древесины и пластмасс.	2	6	4		6.4.1 6.4.3 6.4.4, 6.4.6	6.1.1 6.1.2	зачет
	Девятый семестр	6	2	2	120			Экзам. Курс.пр.
4	Деревянные конструкции сплошного сечения.	2	2	2		6.4.1 6.4.3, 6.4.4	6.1.1 6.1.2	Курс.проект, экзамен
5	Стропильные фермы.	2				6.4.1, 6.4.4 6.4.5, 6.4.6	6.1.1 6.1.2	Курс.проект, экзамен
9	Основы эксплуатации конструкций из дерева и пластмасс.	2					6.1.1, 6.1.2 6.2.3, 6.2.4 6.2.5	Курс.проект, экзамен

**9. ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ БрГТУ
«Конструкции из дерева и пластмасс»**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1	2	3	4
1. Технология строительного производства	Технология строительного производства	Зав. кафедрой В.И.Юськович	
2. Строительное материаловедение	Технология бетона и строительные материалы	Зав. кафедрой В.В. Тур	