

**Сәулет, қала құрылысы және құрылыс
саласындағы мемлекеттік нормативтер
ҚР НОРМАТИВТІК–ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**

**Государственные нормативы в области
архитектуры, градостроительства и строительства
НОРМАТИВНО–ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РК**

**АҒАШ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ. 1-БӨЛІМ.
АҒАШ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ҚҰРАСТЫРУ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ.
ЧАСТЬ 1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

**ҚР НТҚ 05-01-1.1-2011
НТП РК 05-01-1.1-2011**

Ресми басылым
Издание официальное

**Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің
Құрылыс, тұрғын үй–коммуналдық шаруашылық істері және жер
ресурстарын басқару комитеті**

**Комитет по делам строительства, жилищно–коммунального
хозяйства и управления земельными ресурсами
Министерства национальной экономики Республики Казахстан**

Астана 2015

АЛҒЫ СӨЗ

1. ӘЗІРЛЕГЕН: «ҚазҚСҒЗИ» АҚ
2. ҰСЫНҒАН: Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің Техникалық реттеу және нормалау басқармасы
3. ҚАБЫЛДАНҒАН ЖӘНЕ ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛГЕН МЕРЗІМІ: Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігі Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің 2014 жылғы 29-желтоқсандағы № 156-НҚ бұйрығымен 2015 жылғы 1-шілдеден бастап

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. РАЗРАБОТАН: АО «КазНИИСА»
2. ПРЕДСТАВЛЕН: Управлением технического регулирования и нормирования Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан
3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: Приказом Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан от «29» декабря 2014 года № 156-НҚ с 1 июля 2015 года

Осы мемлекеттік нормативті ҚР сәулет, қала құрылысы және құрылыс істері жөніндегі Уәкілетті мемлекеттік органының рұқсатынсыз ресми басылым ретінде толық немесе ішінара қайта басуға, көбейтуге және таратуға болмайды.

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства РК.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	VI
----------------------	-----------

РАЗДЕЛ I Общие положения по проектированию деревянных конструкций

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	1
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	1
3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
4 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	13
5 ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЕВРОКОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	18
6 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011.....	19
6.1 Общие положения.....	19
6.2 Предельные состояния несущей способности	23
6.3 Предельные состояния эксплуатационной пригодности	23
6.4 Классификация воздействий и их значения	24
6.5 Свойства материалов	26
6.6 Статический расчет конструкций.....	26
6.7 Расчетные значения воздействий и свойств материалов	29
6.8 Расчетные сочетания воздействий для предельных состояний несущей способности	34
6.9 Расчетные сочетания воздействий для предельных состояний эксплуатационной пригодности	37
7 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.....	39
7.1 Общие положения.....	39
7.2 Влияние продолжительности действия нагрузки и влажности на прочность и деформативность материалов	39
7.3 Расчет предельных состояний несущей способности	41
7.4 Расчет предельных состояний эксплуатационной пригодности в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011	43
7.5 Учет эффектов размера и распределения напряжений в элементах конструкций	45
7.6 Несущая способность системы.....	46

РАЗДЕЛ II Расчет и конструирование деревянных конструкций

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	49
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	49
3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	49
4 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	49
5 МАТЕРИАЛЫ.....	49
5.1 Цельная и клееная древесина.....	49
5.2 Фанера листовая и фанерные плиты	59
5.3 ЛВЛ – брус (брус LVL)	65
5.4 Ориентированно-стружечные плиты OSB (ОСП)	69

5.5 Древесностружечные плиты (ДСП)	73
5.6 Цементностружечные плиты (ЦСП)	74
5.7 Клеи	76
5.8 Древесные плиты, выпускаемые по стандартам (ГОСТ) и техническим условиям в странах СНГ	76
6 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ПЛОТНОСТИ	77
6.1 Общие положения по испытанию образцов	77
6.2 Определение общего модуля упругости при изгибе	79
6.3 Определение модуля сдвига	81
6.4 Определение модуля упругости при растяжении вдоль волокон	84
6.5 Определение модуля упругости при сжатии вдоль волокон	85
6.6 Определение модуля упругости поперек волокон	86
6.7 Определение прочности при поперечном изгибе	89
6.8 Определение прочности при растяжении вдоль волокон	90
6.9 Определение прочности при сжатии вдоль волокон	90
6.10 Определение прочности при растяжении и сжатии поперек волокон	91
6.11 Определение прочности при скалывании вдоль волокон	92
6.12 Анализ данных, полученных при испытании образцов	93
7 ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ И РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	97
7.1 Характеристические свойства цельной и клееной древесины	97
7.2 Расчетные значения прочностных и упругих характеристик цельной и клееной древесины	100
8 РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	103
8.1 Расчет центрально-растянутых элементов	103
8.2 Расчет центрально-сжатых элементов	104
8.3 Расчет площадок элементов, подверженных сжатию под углом α к волокнам	108
8.4 Расчет опорных площадок элементов, работающих на смятие/сжатие древесины поперек волокон	109
8.5 Расчет изгибаемых элементов	111
8.6 Расчет изгибаемых элементов на сдвиг	119
8.7 Расчет изгибаемых элементов со скосами	120
8.8 Расчет элементов, подверженных кручению	121
8.9 Расчет элементов, подверженных совместному действию сдвига и кручения	123
8.10 Расчет элементов, подверженных совместному действию изгиба и сжатия	124
8.11 Расчет элементов, подверженных совместному действию изгиба и растяжения	126
8.12 Расчет односкатных клееных балок	127
8.13 Расчет двускатных клееных балок, гнуто-клееных и гнуто-клееных балок с прямолинейными скатами	129
8.14 Расчет изгибаемых элементов по предельным состояниям эксплуатационной пригодности	135
8.14.1 Определение прогибов балок	135
8.14.2 Расчет прогиба в шарнирно опертых односкатных и двускатных клееных балках	137
9 СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	159
9.1 Расчет соединений на металлических связях нагельного типа	160
9.1.1 Металлические связи нагельного типа	160

9.1.2 Гвозди	160
9.1.3 Винты и шурупы.....	161
9.1.4 Болты и нагели	162
9.1.5 Основные положения по расчету соединений на металлических связях нагельного типа, принятые в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011	163
9.2 Расчет соединений с использованием металлических шпонок.....	190
9.2.1 Связи в виде зубчатых пластин.....	191
9.2.2 Связи в виде кольцевых и круглых пластинчатых шпонок	197
10 КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БАЛОК, РАМ, АРОК И ФЕРМ	209
10.1 Общие положения по проектированию деревянных конструкций.....	209
10.3 Требования по проектированию рам	218
10.4 Требования по проектированию арок	219
10.5 Требования по проектированию ферм.....	220
11 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ, МОНТАЖУ И КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	221
11.1 Общие требования по изготовлению деревянных конструкций и контролю их качества	221
11.2 Общие требования по сборке, транспортировке, хранению, монтажу деревянных конструкций и контролю их качества.....	227

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие разработано к СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 «Проектирование деревянных конструкций. Часть 1. Конструирование деревянных конструкций». В настоящем пособии даны необходимые разъяснения отдельных требований по расчету и конструированию деревянных конструкций, приведены рекомендации по проектированию, не получившие достаточного отражения в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Кроме того, в пособии приводятся разъяснения, касающиеся основных положений СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 в части воздействий, а также целого ряда стандартов серии EN по древесине, материалам на ее основе и методам определения их характеристических и расчетных значений.

Пособие состоит из двух разделов.

Раздел I «Общие положения по проектированию деревянных конструкций в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1». В данной части приведены термины и определения, нормативные ссылки и обозначения используются как в разделе I пособия, так и в разделе II. Изложены основополагающие требования СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011, которыми необходимо руководствоваться при проектировании деревянных конструкций, а также общие положения расчета деревянных конструкций по предельным состояниям.

Раздел II «Расчет и конструирование деревянных конструкций». В данном разделе приведены требования к материалам и изделиям, которые используются для изготовления деревянных конструкций, даны методики определения характеристических и расчетных значений материалов, значения частных коэффициентов свойств материала. Кроме того, приведены разъяснения по расчету и конструированию деревянных конструкций и их элементов (центрально-сжатых и центрально-растянутых, изгибаемых и сжато-изгибаемых), узлов деревянных конструкций с иллюстрацией положений СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 на конкретных примерах конструирования и расчета отдельных типов деревянных конструкций.

Настоящее нормативно-техническое пособие предназначено для инженерно-технических работников, заказчиков проектной продукции, преподавателей и студентов высших учебных заведений.

Настоящее нормативно-техническое пособие вводится в действие для применения на добровольной основе в качестве нормативного документа Республики Казахстан.

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ НОРМАТИВТІК–ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ
НОРМАТИВНО–ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**АҒАШ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ. 1-БӨЛІМ. АҒАШ
КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ҚҰРАСТЫРУ****ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ЧАСТЬ 1.
КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Дата введения 2015-07-01

**РАЗДЕЛ I ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ****1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Пособие Раздел I общие положения по проектированию деревянных конструкций распространяется на проектирование деревянных конструкций в соответствии с положениями СН РК EN 1995 1-1:2008/2011. В пособии детализируются и объясняются требования по сочетаниям воздействий, предельным состояниям, их классификации в соответствии с принципами и правилами СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 и СН РК EN 1995 1-1:2008/2011.

Разработанное пособие распространяется на проектирование конструкций, элементов и изделий с применением положений, изложенных в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, и содержит основные условия и требования по проектированию деревянных конструкций.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Для применения настоящего документа необходимы следующие ссылочные документы. Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного документа, для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

СТ РК 1.9–2007 Государственная система технического регулирования Республики Казахстан. Порядок применения международных, региональных и национальных стандартов иностранных государств, других нормативных документов по стандартизации в Республике Казахстан.

СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 Основы проектирования несущих конструкций.

СН РК EN 1991-1-1:2002/2011 Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-1. Собственный вес, постоянные и переменные нагрузки на здания.

СН РК EN 1991-1-3:2003/2011 Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки.

НТП РК 05-01-1.1-2011

СН РК EN 1991-1-4:2005/2011 Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия.

СН РК EN 1991-1-5:2003/2011 Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-5. Общие воздействия. Температурные воздействия.

СН РК EN 1991-1-6:2005/2011 Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-6. Общие воздействия. Воздействия при производстве строительных работ.

СН РК EN 1991-1-7:2006/2011 Воздействия на несущие конструкции. Часть 1-7. Общие воздействия. Аварийные воздействия.

СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1: Общие правила и правила для зданий.

СН РК EN 1997-1:2004/2011 Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила.

СНиП II-25-80 Деревянные конструкции.

СТ РК ISO 2081 Покрытия металлические и другие неорганические покрытия. Электролитические цинковые покрытия с дополнительной обработкой по железу или стали.

СТ РК EN 351-1 Стойкость древесины и изделий из древесины. Цельная древесина, пропитанная защитным средством. Часть 1. Классификация пропитки и удержания защитного средства.

СТ РК EN 409 Конструкции деревянные. Методы испытаний. Определение изгибающего момента крепежных деталей типа штифта.

СТ РК EN 622-2 Плиты древесноволокнистые. Технические требования. Часть 2. Требования к твердым плитам.

СТ РК EN 622-3 Плиты древесноволокнистые. Технические требования. Часть 3. Требования к полутвердым плитам.

СТ РК EN 622-5 Плиты древесноволокнистые. Технические требования. Часть 5. Требования к плитам, изготовленным по сухому методу (MDF).

СТ РК EN 1382 Деревянные строительные конструкции. Методы испытаний. Сопротивление выдергиванию соединительных элементов деревянных конструкций.

СТ РК EN 1383 Деревянные строительные конструкции. Методы испытаний. Испытание средств соединения деревянных элементов на сопротивление средствам крепления.

СТ РК EN 10025-2 Изделия горячекатаные из конструкционных сталей. Часть 2. Технические условия поставки нелегированных конструкционных сталей.

СТ РК EN 10029 Листы стальные горячекатаные толщиной 3 мм и более. Допуски размеров и формы.

СТ РК EN 10051 Непрерывно горячекатаные полосы и плиты/листы, вырезанные из широкой полосы нелегированной и легированной стали. Допуски размеров и формы.

СТ РК EN 10143 Полосы и листы из стали с покрытием, нанесенным методом непрерывного горячего погружения. Предельные отклонения и допуски на погрешность геометрической формы.

СТ РК EN 10088-2 Стали нержавеющей. Часть 2. Технические условия поставки тонколистовой, толстолистовой и полосовой коррозионно-стойкой стали общего

назначения.

СТ РК EN 14081-1 Конструкции деревянные. Строительная древесина несущего назначения прямоугольного сечения, сортированная по прочности. Часть 1. Общие требования.

СТ РК EN 14250 Деревянные конструкции. Производственные требования к изготовлению ферм на металлических перфорированных пластинах.

СТ РК EN 14279 Лесоматериал ламинированный шпоночный (LVL). Определения, классификация и технические условия.

СТ РК EN 14374 Конструкции деревянные. Конструкционный фанерный слоистый пиломатериал. Технические требования.

СТ РК EN 14592 Конструкции деревянные. Крепежные детали типа штифта. Технические требования.

ГОСТ 3916.1 Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия.

ГОСТ 3916.2 Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. Технические условия.

ГОСТ 10632-89 Плиты древесностружечные. Технические условия.

EN 300* Плиты из длинных, тонких, упорядоченных опилок (OSB). Определения, классификация и требования.

EN 301* Клеевые составы, фенолы и аминопласты несущих деревянных элементов. Классификация и требования к показателям.

EN 309* Плиты древесностружечные. Определение и классификация.

EN 312* Плиты древесностружечные. Спецификации.

EN 313-2* Фанера. Классификация и терминология. Часть 2. Терминология.

EN 314-1* Фанера. Качество склеивания. Часть 1. Методы испытания.

EN 314-2* Фанера. Качество склеивания. Часть 2. Требования.

EN 319* Плиты древесностружечные и древесноволокнистые. Определение прочности при растяжении перпендикулярно плоскости плиты.

EN 322* Плиты древесные. Определение содержания влаги.

EN 324-1* Плиты древесные. Определение размеров плит. Часть 1. Определение толщины, ширины и длины.

EN 324-2* Плиты древесные. Определение размеров плит. Часть 2. Определение прямоугольности и прямолинейности кромок.

EN 335*¹⁾ Стойкость древесины и изделий из древесины. Классы эксплуатации, определения, применение твердой древесины и изделий, на её основе.

EN 336* Древесина конструкционная. Размеры, допустимые отклонения.

EN 338* Древесина конструкционная. Классы прочности.

EN 350-1* Долговечность древесины и материалов на основе древесины. Цельная древесина с защитной обработкой. Часть 1. Классификация защитной пропитки и удерживающей способности.

* Применяется в соответствии с СТ РК 1.9

¹⁾ Взамен EN 335-1:2006, EN 335-2:2006, EN 335-3:1996

EN 350-2* Долговечность древесины и материалов на основе древесины. Естественная долговечность цельной древесины. Часть 2. Руководство по естественной долговечности.

EN 384* Древесина конструкционная. Определение характеристических значений механических свойств и плотности.

EN 386:2002²⁾ Древесина многослойная клееная. Требования к эксплуатационным характеристикам и минимальные требования к изготовлению.

EN 387:2001²⁾ Древесина многослойная клееная. Требования к изготовлению стыков с зубчатым шипом. Требования к виду и минимальные требования к выполнению.

EN 390:2000²⁾ Древесина многослойная клееная. Размеры. Допустимые отклонения.

EN 408* Деревянные конструкции. Древесина конструкционная цельная и клееная слоистая. Определение некоторых физических и механических свойств.

EN 460* Долговечность древесины и материалов на основе древесины. Естественная долговечность цельной древесины. Руководство по требованиям к долговечности для древесины, используемой в агрессивных условиях.

EN 633* Плиты цементно-стружечные. Определение и классификация.

EN 634-2* Плиты цементно-стружечные. Технические условия. Часть 2. Требования к древесностружечным плитам со связующим из обычного портландцемента для сухих, влажных и наружных условий применения.

EN 636* Фанера клееная. Требования.

EN 717-1* Плиты древесные. Определение выделения формальдегида. Часть 1. Метод определения выделения формальдегида с использованием испытательной камеры.

EN 789* Деревянные конструкции. Методы испытаний. Определения механических характеристик древесных плит.

EN 844-3* Круглый лесоматериал и пиломатериал. Терминология. Часть 3. Общие термины для пиломатериалов.

EN 912* Детали крепежные для деревянных изделий. Технические требования к соединительным элементам.

EN 1058* Плиты древесные. Определение механических свойств и плотности.

EN 1075* Деревянные конструкции. Методы испытаний. Соединения, выполненные на металлических зубчатых пластинах.

EN 1193* Деревянные конструкции. Конструкционная и клееная древесина. Определение дополнительных физических и механических свойств.

EN 1194* Деревянные конструкции. Древесина многослойная клееная. Классы прочности и определение характеристических значений.

EN 1310* Лесоматериалы круглые и пиломатериалы. Методы измерения пороков.

EN 1381* Деревянные конструкции. Методы испытания. Несущие соединения на скобах.

EN 1912* Древесина конструкционная. Классы прочности. Распределение классов визуальной сортировки и пород древесины.

EN 10016* Катанка из нелегированной стали для волочения и/или холодной прокатки

* Применяется в соответствии с СТ РК 1.9

²⁾ Действует только для применения настоящего пособия

(Части 1-4).

EN 10083-1* Стали улучшенные. Часть 1. Общие сведения технические условия поставки.

EN 10218* Проволока стальная и проволочные изделия. Общие требования. Методы испытаний.

EN 10230-1* Гвозди из стальной проволоки. Гвозди для общего применения.

EN 10346* Изделия стальные плоские с горячим покрытием, нанесенным непрерывным процессом погружения. Технические условия поставки.

EN 12369-2* Плиты древесные. Собственные значения для проектирования конструкций. Часть 2. Фанера.

EN 13183-1* Содержание влаги в изделии из пиломатериалов. Часть 1. Определение методом печной сушки.

EN 13183-2* Содержание влаги в изделии из пиломатериалов. Часть 2. Определение содержания влаги методом электрического сопротивления.

EN 13271* Деревянные крепежные элементы. Характеристическая несущая способность и модули податливости узлов соединения.

EN 13501-1* Классификация строительных изделий и материалов по пожарной опасности. Часть 1. Классификация строительных изделий по результатам испытаний на пожарную опасность.

EN 13986* Изделия деревянные для строительства. Показатели, оценка соответствия и маркировка.

EN 14080* Деревянные конструкции. Древесина многослойная клееная. Требования.

EN 14081-2* Деревянные конструкции. Конструкционная древесина прямоугольного сечения, сортированная по прочности. Часть 2. Машинная сортировка. Дополнительные требования к первичным испытаниям.

EN 14081-3* Деревянные конструкции. Конструкционная древесина прямоугольного сечения, сортированная по прочности. Часть 3. Машинная сортировка: дополнительные требования к заводскому производственному контролю.

EN 14545* Деревянные конструкции. Коннекторы. Требования.

EN 15228* Древесина конструкционная. Консервант для защиты строительного лесоматериала от биологического поражения.

EN 26891* Деревянные конструкции. Соединения на механических крепежных деталях. Общие принципы определения характеристик прочности и деформативности.

EN 28970* Деревянные конструкции. Испытания узловых соединений с механическими крепежными деталями. Требования к плотности древесины (ISO 8970:1989).

ISO 2631* Оценка воздействия вибраций на человека (Части 1 и 2).

ISO 3131:1975* Древесина. Метод определения плотности при физико-механических испытаниях.

Примечание – При пользовании настоящим пособием целесообразно проверить действие ссылочных стандартов по ежегодно издаваемому информационному указателю «Указатель нормативных документов по

* Применяется в соответствии с СТ РК 1.9

стандартизации» по состоянию на текущий год и соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем пособии применяются следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 Строительный материал (construction material): Материал, применяемый для строительства, например, бетон, сталь, древесина, кирпич.

3.2 Конструкция (сооружение) (structure): Предусмотренная комбинация взаимосвязанных конструктивных элементов, предназначенных для восприятия нагрузок и обеспечения адекватной жесткости.

3.3 Конструктивный элемент (structural member): Физически различимая часть конструкции, например, колонна, балка, плита, фундаментная свая.

3.4 Конструктивная форма сооружения (form of structure): Определяется расположением конструктивных элементов.

3.5 Конструктивная система (structural system): Несущие элементы здания или инженерного сооружения, объединенные определенным способом для совместной работы.

3.6 Модель сооружения (structural model): Идеализированная схема сооружения, применяемая при проектировании в расчетах и расчетных проверках.

3.7 Критерии расчета (design criteria): Количественные показатели, описывающие условия, которые должны быть выполнены для каждого предельного состояния.

3.8 Расчетные ситуации (design situations): Совокупность физических условий, моделирующих реальные условия, встречающиеся в определенном интервале времени, для которого расчеты должны показать, что соответствующие предельные состояния не превышены.

3.9 Переходная расчетная ситуация (transient design situation): Ситуация, реализующаяся в течение интервала времени, существенно меньшего по продолжительности, чем период эксплуатации сооружения и имеющая высокую вероятность проявления.

Примечание – Переходная расчетная ситуация относится к временным условиям эксплуатации или воздействия на несущую конструкцию, например, во время строительства или во время проведения ремонта.

3.10 Постоянная расчетная ситуация (persistent design situation): Ситуация, являющаяся определяющей в течение всего периода эксплуатации сооружения.

3.11 Аварийная расчетная ситуация (accidental design situation): Ситуация, учитывающая особые для сооружения условия или воздействия, например, пожар, взрыв, удар или местное разрушение.

3.12 Противопожарные проектные мероприятия (fire design): Мероприятия, предусматриваемые при проектировании конструкций для сохранения их работоспособности в случае пожара.

3.13 Сейсмическая расчетная ситуация (seismic design situation): Расчетная ситуация, учитывающая особые условия для сооружения при сейсмических воздействиях.

3.14 Расчетный срок эксплуатации (design working life): Период времени, в течение которого сооружение или его часть, при соответствующем техническом обслуживании, но без капитального ремонта, должны эксплуатироваться по своему функциональному назначению.

3.15 Опасность (hazard): Согласно СН РК EN 1990 и СН РК EN 1991 – СН РК EN 1999 – необычное и серьезное событие, например, не предполагаемое воздействие или влияние окружающей среды, недостаточная прочность или несущая способность, либо недопустимое отклонение от предусмотренных размеров.

3.16 Схема нагружения (load arrangement): Схема, характеризующая положения, величины и направления свободного воздействия.

3.17 Случай нагружения (load case): Случай, при котором в некоторых проверочных расчетах совмещаются разные схемы нагружения – совокупности деформаций и несовершенств, рассматриваются совместно с фиксированными переменными и постоянными воздействиями.

3.18 Предельные состояния (limit states): Состояния, при превышении которых строительные конструкции не отвечают требованиям норм проектирования.

3.19 Критические предельные состояния (ultimate limit states): Состояния, связанные с разрушением или другими формами отказа конструкции (сооружения).

Примечание – Как правило, они соответствуют максимальной несущей способности конструкции или ее элемента.

3.20 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности (SLS) (serviceability limit states): Состояния, при превышении которых не выполняются установленные требования к эксплуатационной пригодности конструкции (сооружения) или ее элементов.

3.21 Необратимые предельные состояния по эксплуатационной пригодности (irreversible service ability limit states): Состояния, при которых некоторые последствия каких-либо воздействий превышают установленные эксплуатационные требования и сохраняются даже после устранения этих воздействий.

3.22 Обратимые предельные состояния по эксплуатационной пригодности (reversible serviceability limit states): Состояния, при которых последствия каких-либо воздействий не сохраняются после устранения этих воздействий.

3.23 Критерий эксплуатационной пригодности (serviceability criterion): Расчетный показатель предельного состояния по эксплуатационной пригодности.

3.24 Несущая способность (сопротивление) (resistance): Способность конструктивного элемента или его поперечного сечения противостоять воздействиям без механического разрушения, например, сопротивление изгибу, сопротивление потере устойчивости, сопротивление растяжению.

3.25 Прочность (strength): Механическое свойство материала, характеризующее его способность сопротивляться воздействиям и, обычно, выражаемое в единицах механического напряжения.

3.26 Надежность (reliability): Способность сооружения или его конструктивного элемента соответствовать установленным требованиям в течение расчетного срока эксплуатации. Надежность выражается, как правило, в вероятностных величинах.

Примечание – Понятие надежность распространяется на безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность сооружения.

3.27 Техническое обслуживание (maintenance): Совокупность мероприятий, осуществляемых в течение расчетного срока эксплуатации сооружения для поддержания его эксплуатационной пригодности.

Примечание – Мероприятия по ремонту сооружения после аварийных воздействий или землетрясения не относятся к техническому обслуживанию.

3.28 Ремонт (repair): Действия по сохранению или восстановлению функциональной способности сооружения, выходящие за рамки мероприятий по техническому обслуживанию.

3.29 Номинальное значение (nominal value): Значение, принятое не по результатам статистического анализа, а на основании опытных данных или физических условий.

3.30 Воздействие (action) (F):

- а) Группа сил (нагрузок), действующих на сооружение (прямое воздействие);
- б) Группа приложенных деформаций или колебаний, вызванных изменением температуры или влажности, неравномерной осадкой оснований или землетрясением (косвенное воздействие). а) совокупность сил (нагрузок), приложенных к конструкции (прямое воздействие); б) совокупность вынужденных деформаций или ускорений, вызванных, например, изменениями температуры и влажности, неравномерной осадкой опор или землетрясениями (непрямое воздействие).

3.31 Эффект воздействия (effect faction) (E): Результат воздействия на элементы конструкции (например, внутренние силы, моменты, напряжения, деформации) или реакции всего сооружения (например, прогибы, повороты), вызванные воздействиями.

3.32 Постоянное воздействие (permanent action) (G): Воздействие в течение всего срока эксплуатации, временное изменение величины которого, по сравнению со средним значением, незначительно, или воздействие, изменение которого до достижения определенного предельного значения происходит всегда монотонно и в одном направлении.

3.33 Переменное воздействие (variable action) (Q): Воздействие, для которого изменение его величины во времени не является ни незначительным и ни монотонным.

3.34 Аварийное воздействие (accidental action) (A): Воздействие, как правило, кратковременное, но значительной величины, имеющее небольшую вероятность возникновения в течение расчетного срока эксплуатации сооружения.

Примечания

1 Аварийное воздействие может иметь тяжелые последствия, если не принимать соответствующих мер.

2 Ударные, снеговые, ветровые и сейсмические воздействия могут быть переменными или аварийными, в зависимости от имеющейся информации относительно их статистических распределений.

Воздействие, обычно непродолжительное, но значительное по величине, появление которого для заданной конструкции в течение расчетного срока эксплуатации является маловероятным.

3.35 Сейсмическое воздействие (seismic action) (A_E): Воздействие, вызванное движениями грунта во время землетрясения.

3.36 Геотехническое воздействие (geotechnical action): Воздействие, передаваемое на сооружение от грунта основания, от засыпки или грунтовых вод.

3.37 Фиксированное воздействие (fixed action): Воздействие, которое имеет постоянное распределение и положение по отношению к конструкции или конструктивному элементу, в результате чего величина и направление этого воздействия однозначно определяются для конструкции или конструктивного элемента, если его величина и направление определены для одной точки конструкции или конструктивного элемента.

3.38 Свободное воздействие (free action): Воздействие, которое может иметь различные пространственные распределения по отношению к конструкции.

3.39 Отдельное воздействие (single action): Воздействие, являющееся статистически независимым во времени и пространстве от любого другого воздействия на конструкцию.

3.40 Статическое воздействие (static action): Воздействие, не вызывающее существенных колебаний конструкции или конструктивного элемента.

3.41 Динамическое воздействие (dynamic action): Воздействие, вызывающее существенные колебания конструкции или конструктивного элемента.

3.42 Квазистатическое воздействие (quasi-static action): Динамическое воздействие, выраженное в расчете как эквивалентное статическое воздействие.

3.43 Характеристическое значение воздействия (characteristic value of an action) (F_k): Определяющее репрезентативное значение воздействия.

Примечание – Если характеристическое значение может быть установлено статистически, то его определяют с заданной вероятностью, при которой в течение «референтного периода времени» не произойдет превышения данного значения; при этом учитываются расчетный срок эксплуатации сооружения и продолжительность расчетной ситуации.

3.44 Комбинационное значение переменного воздействия (combination value of a variable action) ($\psi_0 Q_k$): Значение переменного воздействия, выбранное по возможности, на статистической основе таким образом, чтобы вероятность превышения эффектов, вызванных комбинацией воздействий, была примерно такой же, как и вероятность превышения характеристического значения отдельного воздействия. Комбинационное значение представляет собой часть характеристического значения переменного воздействия и может быть определено умножением характеристического значения на коэффициент $\psi_0 \leq 1$.

3.45 Частое значение переменного воздействия (frequent value of a variable action) ($\psi_1 Q_k$): Значение переменного воздействия, выбранное по возможности, на статистической основе таким образом, чтобы либо суммарное время его действия в пределах референтного периода, когда это значение превышает, являлось малой частью референтного периода, либо частота этих превышений ограничивалась заданным значением. Частное значение представляет собой часть характеристического значения

переменного воздействия и может быть определено умножением характеристического значения на коэффициент $\psi_1 \leq 1$.

Примечание – Частые значения многокомпонентных транспортных воздействий – см. группы нагрузок в СН РК EN 1991-2:2003/2011.

3.46 Квазипостоянное значение переменного воздействия (quasi-permanent value of a variable action) ($\psi_2 Q_k$): Значение воздействия, установленное таким образом, чтобы суммарный период времени, в течение которого оно будет превышено, составлял значительную часть базового периода. Оно может быть выражено как определенная часть характеристического значения с помощью коэффициента $\psi_2 \leq 1$.

3.47 Значение сопутствующего переменного воздействия (accompanying value of a variable action, ψQ_k): Значение переменного воздействия, которое сопровождает доминирующее воздействие в комбинации воздействий.

Примечание – Значением сопутствующего переменного воздействия может быть его комбинационное, частое или квазипостоянное значение.

3.48 Репрезентативное значение воздействия (representative value of an action) (F_{rep}): Значение, применяемое при расчете по предельным состояниям. В качестве репрезентативного значения могут быть приняты характеристическое значение (F_k) или сопутствующее значение (ψF_k).

3.49 Расчетное значение воздействия (design value of an action) (F_d): Значение воздействия, полученное умножением репрезентативного значения на частный коэффициент γ_f .

Примечание – Расчетное значение воздействия может также определяться как произведение репрезентативного значения и частного коэффициента $\gamma_F = \gamma_{sd} \times \gamma_f$

3.50 Комбинация воздействий (combination of actions): Совокупность расчетных значений воздействий, используемых при проверке надежности сооружения по некоторым предельным состояниям при одновременном действии различных воздействий.

3.51 Характеристическое значение (characteristic value) (X_k или R_k): Значение, характеризующее свойства материала или изделия с определенной вероятностью непревышения при гипотетически неограниченном количестве испытаний. Характеристическое значение, обычно соответствует определенной квантили принятого статистического распределения рассматриваемого материала или изделия. В некоторых случаях номинальное значение используется как характеристическое.

3.52 Расчетное значение свойства материала или изделия (design value of a material or product property) (X_d или R_d): Значение, получаемое в результате деления характеристического значения показателя свойств материала и изделия X_k или показателя свойств конструктивного элемента R_k на частный коэффициент γ_m или γ_M или, в особых случаях, определяемое непосредственно.

3.53 Номинальное значение свойства материала или изделия (nominal value of a material or product property) (X_{nom} или R_{nom}): Значение, обычно применяемое как

характеристическое значение, определенное в соответствующем документе, например, в Европейском или предварительном стандарте.

3.54 Жесткость: Степень деформативности материала или конструкции при воздействиях.

3.55 Надежность (reliability): Способность сооружения или его конструктивного элемента соответствовать установленным требованиям в течение расчетного срока эксплуатации. Надежность выражается, как правило, в вероятностных величинах.

Примечание – Понятие надежность распространяется на безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность сооружения.

3.56 Расчет конструкций (structural analysis): Процедура или алгоритм определения эффектов воздействий (силы, моменты, напряжения, деформации) в любой точке конструкции.

Примечание – Расчет можно проводить на тех уровнях, используя различные модели: общий расчет, расчет отдельных конструктивных элементов, локальный (местный) расчет.

3.57 Общий расчет (global analysis): Определение в конструкции согласованных между собой величин сил, моментов и усилий, находящихся в равновесии с воздействиями на несущую конструкцию и зависящих от геометрических размеров, конструктивных решений и свойств материалов.

3.58 Линейно-упругий расчет первого порядка без уточнения усилий (first order linear-elastic analysis without redistribution): Упругий расчет, основанный на линейных зависимостях «напряжения – деформации» или «моменты – кривизна» и начальной геометрии недеформированной конструкции (расчет по недеформированной схеме).

3.59 Линейно-упругий расчет первого порядка с уточнением усилий (first order linear-elastic analysis with redistribution): Линейно-упругий расчет, при котором внутренние усилия уточняются в соответствии с заданными внешними воздействиями, но без проведения точного расчета на кручение.

3.60 Линейно-упругий расчет второго порядка (second order linear-elastic analysis): Упругий расчет конструкций, выполняемый по деформированной расчетной схеме с использованием линейных зависимостей «напряжения-деформации».

3.61 Нелинейный расчет первого порядка (first order non-linear analysis): Расчет конструкций, выполняемый по недеформированной расчетной схеме с учетом нелинейных деформационных свойств материалов.

Примечание – Нелинейный расчет первого порядка может выполняться с использованием соответствующих допущений о жесткости: упруго-идеально-пластичной, упруго-пластичной или жестко-пластичной.

3.62 Нелинейный расчет второго порядка (second order non-linear analysis): Расчет конструкций, выполняемый по деформированной расчетной схеме с учетом нелинейных деформационных свойств материалов.

Примечание – Нелинейный расчет второго порядка может быть упруго-идеально-пластичным или упруго-пластичным.

3.63 Идеально-упруго-пластический расчет первого порядка (first order elastic-perfectly plastic analysis): Расчет конструкций, основанный на зависимости «момент – кривизна» в упругопластической стадии с последующим переходом в пластическую стадию без упрочнения, выполняемый по недеформированной схеме.

3.64 Идеально-упруго-пластический расчет второго порядка (second order elastic-perfectly plastic analysis): Расчет конструкций, выполняемый по недеформированной схеме с учетом зависимостей «момент-кривизна», состоящих из линейно-упругой части и последующей пластичной части без упрочнения.

3.65 Упругопластический расчет (первого или второго порядка) (elasto-plastic analysis (first or second order)): Расчет конструкций, при котором применяются зависимости «растяжение-сжатие» или «момент-кривизна» состоящие из линейно-упругих частей и последующих пластичных частей с упрочнением или без упрочнения.

Примечание – Такие расчеты могут выполняться как по недеформированным, так и по деформированным расчетным схемам.

3.66 Жесткопластический расчет (rigid plastic analysis): Расчет конструкций, выполняемый по недеформированной расчетной схеме, с использованием принципов прямой оценки предельных нагрузок.

Примечание – Предполагается, что зависимость «момент-кривизна» не включает упругой части и упрочнения.

3.67 Предельные состояния несущей способности (ULS): Предельные состояния, связанные с разрушением или другими формами отказа конструкции.

3.68 Нагельные соединения: Соединения, выполненные с использованием цилиндрического стержня круглого поперечного сечения, выполненного обычно из стали, с головкой и без головки, устанавливаемого плотно в предварительно высверленные отверстия, и служащие для передачи нагрузки перпендикулярно оси нагеля.

3.69 Равновесная влажность: Влагосодержание, при котором древесина не приобретает и не отдает влагу в окружающую среду.

3.70 Точка насыщения фиброволокна: Содержание воды, при которой клетчатка древесины насыщена полностью.

3.71 LVL: LVL определяется в соответствии с EN 14279 и СТ РК EN 14374 (конструкционный материал, известен также как брус из клееного шпона, изготовленный по технологии склейки нескольких слоев лущеного шпона хвойных пород: сосна, ель, лиственница, толщиной порядка 3 мм, причем волокна древесины смежных слоев располагаются параллельно, что отличает LVL от фанеры, в которой волокна смежных слоев расположены перпендикулярно. Выпускается в виде брусьев (балок) и плит широкого размерного ряда).

3.72 Деревянный слоистый настил: Лист из параллельно состыкованного твердого слоистого материала, скрепленного гвоздями, шурупами или склеиванием.

3.73 Влагосодержание: Масса воды в древесине, выраженная в отношении к массе высушенной древесины.

3.74 Свойства жесткости: Характеристика, используемая при расчете деформации конструкции, например: модуль упругости, модуль сдвига, модуль податливости.

3.75 Модуль податливости: Характеристика, используемая при расчете деформации конструкции между двумя элементами.

4 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В пособии приняты следующие обозначения:

Прописные латинские буквы

A – особое воздействие; поперечное сечение;

A_{ef} – эффективная площадь совокупной контактной поверхности между крепежной деталью из перфорированной металлической пластины и древесиной; эффективная площадь контакта при сжатии поперек волокон;

A_f – поперечное сечение кромки (фланца);

$A_{net,t}$ – поперечное сечение нетто перпендикулярно волокнам;

$A_{net,v}$ – площадь сдвига нетто параллельно волокнам;

A_d – расчетное значение особого воздействия;

E – эффект воздействия;

E_d – расчетное значение эффекта воздействий; расчетное значение модуля упругости;

F – воздействие; усилие;

F_d – расчетное значение воздействия; расчетное усилие;

F_k – характеристическое значение воздействия;

F_{rep} – репрезентативное значение воздействия;

G – постоянное воздействие;

G_d – расчетное значение постоянного воздействия; расчетное значение модуля сдвига;

$G_{d,inf}$ – нижнее значение постоянного воздействия;

$G_{d,sup}$ – верхнее значение постоянного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

$G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного воздействия j ;

$G_{kj,sup}/G_{kj,inf}$ – верхнее/нижнее характеристическое значение постоянного воздействия j ;

Q – переменное воздействие;

Q_d – расчетное значение переменного воздействия;

Q_k – характеристическое значение единичного переменного воздействия;

$Q_{k,l}$ – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия l ;

$Q_{k,i}$ – характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия i ;

R – сопротивление; несущая способность;

R_d – расчетное значение сопротивления; расчетная несущая способность;

R_k – характеристическое значение сопротивления; характеристическое значение несущей способности;

X – свойство материала;

X_d – расчетное значение свойства материала;

X_k – характеристическое значение свойства материала;

$E_{0,05}$ – пятипроцентный квантиль модуля упругости;

E_{mean} – среднее значение модуля упругости;

$E_{\text{mean,fin}}$ – окончательное среднее значение модуля упругости;

F_c – сжимающее усилие;

F_{la} – нагрузка, перпендикулярная боковой плоскости элемента;

$F_{M,Ed}$ – расчетное усилие по расчетному моменту;

F_t – растягивающее усилие;

$F_{x,Ed}$ – расчетная величина усилия в направлении x ;

$F_{y,Ed}$ – расчетная величина усилия в направлении y ;

$G_{0,05}$ – пятипроцентный квантиль модуля сдвига;

G_{mean} – среднее значение модуля сдвига;

I_f – момент инерции полки;

I_{tor} – момент инерции кручения;

I_z – момент инерции площади относительно оси z ;

K_{ser} – модуль податливости;

$K_{\text{ser,fin}}$ – окончательный модуль податливости;

K_u – мгновенный модуль податливости для предельного состояния;

$L_{\text{net,t}}$ – ширина нетто поперечного сечения перпендикулярно волокнам;

$M_{\text{ap,d}}$ – расчетный максимальный изгибающий момент;

M_d – расчетный изгибающий момент;

N – осевое усилие;

$R_{90,d}$ – расчетная несущая способность при скалывании;

$R_{90,k}$ – характеристическое значение несущей способности при скалывании;

$R_{\text{ax,d}}$ – расчетная несущая способность соединения, нагруженного в осевом направлении;

$R_{\text{ax,k}}$ – характеристическое значение несущей способности соединения, нагруженного в осевом направлении;

$R_{\text{ax},\alpha,k}$ – характеристическое значение несущей способности соединения, нагруженного под углом к волокнам;

R_k – характеристическое значение несущей способности;

$R_{\text{sp,k}}$ – характеристическое значение несущей способности при скалывании;

V – сдвигающая сила; объем;

W_y – момент сопротивления относительно оси y

Строчные буквы латинского алфавита

a – расстояние;

α_1 – интервал в направлении параллельно волокнам или крепежных элементов в одном ряду;

α_2 – интервал в направлении перпендикулярно волокнам или между рядами крепежных элементов;

$\alpha_{3,c}$ – расстояние между крепежными элементами и незагруженным краем;

$\alpha_{3,t}$ – расстояние между крепежными элементами и загруженным краем;

$\alpha_{4,c}$ – расстояние между крепежными элементами и незагруженным торцом;

$\alpha_{4,t}$ – расстояние между крепежными элементами и загруженным торцом;

$\alpha_{2,CG}$ – краевое расстояние от центра тяжести поперечного сечения резьбовой части винта в элементе;

b – ширина;

b_w – ширина стенки балки;

d – диаметр; наружный диаметр резьбы;

d_h – диаметр головки болта;

d_l – внутренний диаметр резьбы;

d_c – диаметр соединителя;

d_{ef} – эффективный диаметр;

$f_{h,i,k}$ – характеристическая прочность заделки i -го деревянного элемента;

$f_{a,\alpha,\beta,k}$ – характеристическое сопротивление анкерного крепления;

$f_{ax,k}$ – характеристическое сопротивление гвоздя на выдергивание;

$f_{c,0,d}$ – расчетное значение прочности при сжатии вдоль волокон;

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

$f_{h,k}$ – расчетное значение прочности анкеровки;

$f_{head,k}$ – характеристическое значение прочности на пробивание гвоздя;

$f_{m,k}$ – характеристическое значение прочности при изгибе;

$f_{m,y,d}$ – расчетное значение прочности при изгибе относительно оси y ;

$f_{m,z,d}$ – расчетное значение прочности при изгибе относительно оси z ;

$f_{m,\alpha,d}$ – расчетное значение прочности при изгибе под углом α по отношению к волокнам;

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

$f_{t,0,k}$ – характеристическое значение прочности при растяжении вдоль волокон;

$f_{t,90,d}$ – расчетное значение прочности при растяжении поперек волокон;

$f_{u,k}$ – характеристическое сопротивление при растяжении болтов;

$f_{v,ax,\alpha,k}$ – характеристическое сопротивление при выдергивании под углом к волокнам;

$f_{v,ax,90,k}$ – характеристическое сопротивление при выдергивании шурупа поперек волокон;

$f_{v,d}$ – расчетное сопротивление при сдвиге;

h – глубина; высота;

h_{ap} – глубина пиковой зоны;

h_d – глубина отверстия;

h_c – глубина заделки; длина анкеровки;

h_e – расстояние от загруженного торца;

h_{ef} – эффективная глубина;

h_{rl} – расстояние от нижнего торца отверстия до низа элемента;

h_{ru} – расстояние от верхнего торца отверстия до верха элемента;
 k_{cr} – коэффициент растрескивания для сопротивления сдвигу;
 $k_{\text{c,y}}$ или $k_{\text{c,z}}$ – коэффициент продольного изгиба;
 k_{crit} – коэффициент, учитываемый при боковом выпучивании;
 k_{def} – коэффициент деформации;
 k_{dis} – коэффициент, учитывающий распределение напряжений в пиковой зоне;
 $k_{\text{f,1}}, k_{\text{f,2}}, k_{\text{f,3}}$ – коэффициент модификации для сопротивления связи;
 k_{h} – коэффициент глубины, высоты;
 $k_{\text{i,q}}$ – коэффициент равномерно распределенной нагрузки;
 k_{m} – коэффициент, учитывающий перераспределение напряжений в поперечном сечении, возникающих при изгибе;
 k_{mod} – коэффициент приведения (модификации), учитывающий длительность действия нагрузки и содержание влаги;
 k_{r} – коэффициент понижения;
 $k_{\text{R,red}}$ – коэффициент понижения для несущей способности;
 k_{s} – коэффициент интервала крепежа; коэффициент приведения жесткости пружины;
 $k_{\text{s,red}}$ – понижающий коэффициент для интервала;
 k_{shape} – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения;
 k_{sys} – коэффициент прочности системы;
 k_{v} – коэффициент понижения прочности для балки с вырезом;
 k_{vol} – коэффициент объема;
 l – пролет; длина контакта;
 l_{c} – опорное расстояние отверстия;
 l_{ef} – эффективная длина; эффективная длина распределения;
 m – масса на единицу площади;
 n_{ef} – эффективное количество крепежных деталей;
 p_{d} – распределенная нагрузка;
 q_{i} – эквивалентная равномерно распределенная нагрузка;
 r – радиус кривизны;
 r_{in} – внутренний радиус;
 s – интервал;
 s_0 – основной шаг крепежа;
 t – толщина;
 t_{pen} – глубина проникновения;
 u_{creep} – деформация ползучести;
 u_{fin} – конечная деформация;
 $u_{\text{fin,G}}$ – конечная деформация для постоянного воздействия G;
 $u_{\text{fin,Q,1}}$ – конечная деформация для основного переменного воздействия Q₁;
 $u_{\text{fin,Q,i}}$ – конечная деформация для сопутствующего переменного воздействия Q_i;
 u_{inst} – мгновенная деформация;
 $u_{\text{inst,G}}$ – мгновенная деформация для постоянного воздействия G;
 $u_{\text{inst,Q,1}}$ – мгновенная деформация для основного переменного воздействия Q₁;
 $u_{\text{inst,Q,i}}$ – мгновенная деформация для сопутствующего переменного воздействия Q_i;

w_c – предварительный выгиб;
 w_{crep} – прогиб ползучести;
 w_{fin} – конечный прогиб;
 w_{inst} – мгновенный прогиб;
 $w_{net,fin}$ – конечный прогиб нетто.

Строчные буквы греческого алфавита

α – угол между направлением усилия и волокнами древесины; угол между направлением усилия и загруженным торцом;
 β_c – коэффициент прямолинейности;
 γ – частный коэффициент (безопасности или эксплуатационной пригодности);
 γ_f – частный коэффициент для воздействий, учитывающий возможность нежелательного отклонения величины воздействия от репрезентативного значения;
 γ_F – частный коэффициент для воздействий, учитывающий погрешности модели и отклонения размеров;
 γ_g – частный коэффициент для постоянных воздействий, учитывающий возможность нежелательного отклонения величины воздействия от репрезентативного значения;
 γ_G – частный коэффициент для постоянных воздействий, учитывающий погрешности модели и отклонения размеров;
 $\gamma_{G,j}$ – частный коэффициент для постоянного воздействия j ;
 $\gamma_{Gj,sup}/\gamma_{Gj,inf}$ – частный коэффициент для постоянного воздействия j при определении верхних/нижних расчетных значений;
 γ_I – коэффициент значимости (см. СН РК EN 1998:2004/2012);
 γ_m – частный коэффициент для свойств материалов;
 γ_M – частный коэффициент для свойств материалов, учитывающий погрешности модели и отклонения размеров;
 γ_q – частный коэффициент для переменных воздействий, учитывающий возможность нежелательного отклонения величины воздействий от репрезентативных значений;
 γ_Q – частный коэффициент для переменных воздействий, учитывающий погрешности модели и отклонения размеров;
 $\gamma_{Q,i}$ – частный коэффициент для переменного воздействия i ;
 γ_{Rd} – частный коэффициент, учитывающий погрешности модели сопротивления;
 γ_{Sd} – частный коэффициент, учитывающий погрешности, касающиеся воздействий и/или модели эффектов от воздействий;
 η – коэффициент преобразования;
 ψ_0 – коэффициент, применяемый к комбинационному значению переменного воздействия;
 ψ_1 – коэффициент, применяемый к частому значению переменного воздействия;
 ψ_2 – коэффициент, применяемый к практически постоянному значению переменного воздействия;
 λ_y – коэффициент гибкости при изгибе относительно оси y ;

λ_z – коэффициент гибкости при изгибе относительно оси z;
 $\lambda_{rel,y}$ – относительный коэффициент гибкости при изгибе относительно оси y;
 $\lambda_{rel,z}$ – относительный коэффициент гибкости при изгибе относительно оси z;
 ρ_a – плотность;
 ρ_k – характеристическая плотность;
 ρ_m – средняя плотность;
 $\sigma_{c,0,d}$ – расчетное напряжение при сжатии вдоль волокон;
 $\sigma_{c,\alpha,d}$ – расчетное напряжение при сжатии под углом α к волокнам;
 $\sigma_{m,crit}$ – критическое напряжение при изгибе;
 $\sigma_{m,y,d}$ – расчетное напряжение при изгибе относительно оси y;
 $\sigma_{m,z,d}$ – расчетное напряжение при изгибе относительно оси z;
 $\sigma_{m,\alpha,d}$ – расчетное напряжение при изгибе под углом α к волокнам;
 σ_N – осевое напряжение;
 $\sigma_{t,0,d}$ – расчетное растягивающее напряжение вдоль волокон;
 $\sigma_{t,90,d}$ – расчетное растягивающее напряжение перпендикулярно волокнам;
 $\sigma_{w,c,d}$ – расчетное напряжение сжатия стенки;
 τ_d – расчетное напряжения сдвига;
 $\tau_{F,d}$ – расчетное напряжение анкерного крепления от осевого усилия;
 $\tau_{M,d}$ – расчетное напряжение анкерного крепления от момента;
 $\tau_{tor,d}$ – расчетное напряжение сдвига от кручения/

5 ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЕВРОКОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

5.1 Проектирование деревянных конструкций на территории Республики Казахстан должно осуществляться в соответствии с общепринятыми в Европейском Союзе стандартами и с учетом национальных приложений.

5.2 Основополагающими документами при проектировании деревянных конструкций и гражданских сооружений являются: СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 «Основы проектирования несущих конструкций», определяющие основы строительного проектирования; СН РК EN 1991-1:2002/2011 «Воздействия на несущие конструкции», включающая все его части, рассматривающий воздействия, которые необходимо воспринять; СН РК EN 1995:2008/2011, «Проектирование деревянных конструкций», которые состоят из трех частей: СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1 Общие правила и правила для зданий; СН РК EN 1995-1-2:2008/2011 Проектирование деревянных конструкций Часть 1-2. Общие правила проектирования конструкций с учетом воздействия пожара и СН РК EN 1995-2:2008/2011 Проектирование деревянных конструкций. Часть 2: Мосты.

5.3 Настоящее пособие относится к проектированию изделий из древесины и материалов на ее основе для зданий в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Согласно Главе 1 проектирование деревянных конструкций с учетом огнестойкости следует проводить в соответствии с требованиями

СН РК EN 1995-1-2:2008/2011. Данные условия проектирования в настоящем пособии не рассматриваются.

5.4 В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 применяются принципы проектирования по предельным состояниям, в которых требования, касающиеся надежности конструкций, относятся к предельным состояниям, т.е. состояниям, при превышении которых конструкция или ее элемент перестают удовлетворять соответствующим расчетным критериям.

5.5 Любое положение в каждом из СН РК EN следует рассматривать в качестве принципа или правила применения. Принцип – это утверждение или требование, которое необходимо полностью соблюдать при отсутствии альтернативы в настоящем документе, а правило применения – это положение, которое соответствует принципу. Проектировщик может использовать альтернативные правила проектирования при условии наличия доказательства их полного соответствия принципам, а также возможности формирования альтернативного проекта, обеспечивающего достижение требований эксплуатационной пригодности, структурной целостности и проектного срока. В этом случае неправомерно заявлять полное соответствие разработанного проекта нормам СН РК EN и необходимости его СЕ-маркировки.

5.6 Если перед пунктом СН РК EN указано число в скобках, за которым следует буква Р, то это является принципом, а если в скобках указано только число, то это правило применения. В случаях, если к определенным правилам проектирования или значениям функций, приведенным в СН РК EN, применим национальный выбор, то данные пункты определяют как национально определенные параметры. Данная информация приведена в национальном приложении, которое может содержать так называемую «непротиворечивую дополнительную информацию», являющуюся дополнительным руководством по интерпретации или применению правил проектирования, рассмотренных в СН РК EN. Если «непротиворечивую дополнительную информацию» не включили в национальное приложение, то ее издадут отдельным документом.

5.7 При проектировании деревянных конструкций в соответствии с правилами, установленными в СН РК EN, обязательным является использование национально установленных параметров, рассмотренных в национальном приложении СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, а не эквивалентных требований, установленных в Еврокоде.

6 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011

6.1 Общие положения

6.1.1 Проектируемая конструкция должна соответствовать основным принципам, изложенным СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011, т.е. в процессе предполагаемого срока эксплуатации она должна выдерживать (воспринимать) все возникающие воздействия и влияния окружающей среды, и оставаться пригодной к требуемым условиям эксплуатации, удовлетворять требованиям огнестойкости и эксплуатационной пригодности. Потенциальные повреждения следует исключать или ограничивать

соответствующим выбором одной или нескольких перечисленных мер:

- исключения или сокращения угроз, которым может быть подвергнута конструкция;
- выбора конструктивной формы, которая имеет низкую чувствительность к возможным угрозам;
- выбора такой конструктивной формы или схемы и методов расчета, чтобы конструкция могла выдержать локальное повреждение, включая удаление отдельного элемента или ограниченной части конструкции, сохраняя необходимую живучесть согласно СН РК EN 1991-1-7:2002/2011;
- исключения, по мере возможности, конструктивных систем, которые имеют хрупкий характер разрушения;
- раскрепления элементов конструкции и обеспечения их надежного соединения между собой.

6.1.2 Проект конструкции должен удовлетворять критериям надежности и концептуальным требованиям, приведенным в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011(Раздел 2.2).

В соответствии с указанным документом установлены классы последствий, которые подразделяются на тяжелые (CC1), средние (CC2) и малые (CC3). Они зависят от последствий угрозы для человеческой жизни, а также экономических и социальных последствий или последствий для окружающей среды при нарушении работы конструкции. Каждый класс последствий связан с классом надежности (RC). При этом классы тяжелые (CC1), средние (CC2) и малые (CC3) связаны, соответственно, с классами надежности RC1, RC2 и RC3. Каждый класс надежности имеет соответствующий индекс надежности β , который можно рассматривать в качестве коэффициента безопасности для данного класса.

6.1.3 Для конструкций, подпадающих под категорию последствий CC2, рекомендуемые минимальные значения индексов надежности приведены в Таблице1 настоящего пособия, что соответствует требованиям СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011. Рекомендуемые индексы надежности для базового периода отнесения сроком 50 лет приводят к вероятности разрушения конструкции от 10^{-4} до 10^{-5} по предельным состояниям несущей способности (ULS) и от 10^{-1} до 10^{-2} по предельным состояниям эксплуатационной пригодности (SLS).

6.1.4 В начале процесса проектирования конструкции необходимо установить ориентировочный проектный срок эксплуатации, который определяется в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011, как предполагаемый период времени, в течение которого конструкция или ее часть должны быть использованы и применены по целевому назначению, включая плановое техническое обслуживание без необходимости проведения значительных ремонтов.

6.1.5 В соответствии с СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблица 2.1) устанавливается пять категорий расчетного срока службы, а в качестве категории, наиболее характерной для зданий, где основными несущими конструкциями являются деревянные конструкции, запроектированные в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, является категория 4. В этом случае ориентировочный проектный срок эксплуатации для данной категории составляет 50 лет. При

необходимости, если это считается целесообразным, допускается, чтобы конструкция имела расчетный срок службы категории 4 и содержала элементы с менее продолжительным проектным сроком эксплуатации при условии, что их можно быстро заменить, не оказывая отрицательного воздействия на здание.

Таблица 1 - Рекомендуемые минимальные значения индекса надежности β^* в соответствии с СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011

Класс надежности (RC), связанный с CC2:RC2	Минимальные значения β	
	ULS	SLS (необратимые)
Базовый период сроком 1 год	4,7	2,9
Базовый период сроком 50 лет	3,8	1,5
* На основании таблиц B2 и C2 в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011.		

6.1.6 Здание будет оставаться пригодным к эксплуатации на протяжении расчетного срока службы при условии осуществления заказчиком полноценного технического обслуживания и соответствующего выполнения требований по техническому обслуживанию как самого здания, так и конструкций. Для деревянных конструкций важно, чтобы техническое обслуживание обеспечивало соответствие температурно-влажностных условий, в которых функционирует конструкция, классу эксплуатации СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, для которого она запроектирована.

6.1.7 Запроектированная конструкция или ее элементы должны удовлетворять проверкам условий предельных состояний несущей способности, т.е. обладать способностью оставаться пригодными к эксплуатации при соответствующем техническом обслуживании в течение проектного срока эксплуатации. При проектировании конструкций и их элементов должны быть включены влияния факторов физического износа, которые могут возникнуть в течение данного периода. К таким факторам, выделенным в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011. по отношению к деревянным конструкциям, следует относить:

- целевое или предполагаемое использование конструкции. Например, фактором, подлежащим включению, для деревянного пола, будет допуск на износ в процессе проектного срока эксплуатации;

- необходимый критерий проектирования. Вначале необходимо определить цель проектирования, устанавливающую возникновение потребности в замене элементов конструкции в процессе срока эксплуатации (при необходимости), и обеспечить реализацию такого проекта, чтобы замену можно было осуществить при одновременном сохранении эксплуатационной пригодности конструкции;

- ожидаемые (прогнозируемые) условия эксплуатации. Они являются особенно важными для деревянных конструкций. Изменения условий эксплуатации оказывают влияние на свойства прочности древесины и сопротивление конструкций из материалов на ее основе. Немаловажным является то, чтобы в течение запланированного срока

эксплуатации конструкции все ее элементы эксплуатировались в условиях того класса эксплуатации, для которого они запроектированы;

- состав, свойства и характеристики материала и изделий. Рекомендуются использовать материалы, благоприятно влияющие на сопротивление конструкции. Применение защитной обработки в соответствующих условиях является необязательным. Если применяют защитную обработку материалов, которая является обязательной для достижения прочности, то проект должен обеспечивать возможность ее повторного применения в процессе проектного срока эксплуатации при одновременном сохранении эксплуатационной пригодности;

- выбор конструктивной системы. По возможности следует использовать надежную конструктивную систему, которая может безопасно выдерживать известные и предполагаемые расчетные угрозы с экономически целесообразным запасом, превышающим критерии надежности, устанавливаемые Еврокодом;

- качество выполнения и уровень контроля. Изготовление и монтаж должны полностью соответствовать техническим требованиям, в противном случае могут возникнуть проблемы, приводящие к уменьшению сопротивления элементов конструкции, например, нарушение требований при подготовке и применении клея;

- плановое техническое обслуживание в процессе расчетного срока службы. Вначале процесса проектирования должна быть разработана стратегия технического обслуживания, а здание проектируют таким образом, чтобы обеспечить возможность доступа к конструкции для реализации стратегии в процессе проектного срока эксплуатации.

6.1.8 При проектировании деревянных конструкций должны соблюдаться требования принятой системы качества, а также системы в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 9000. При отсутствии данной системы проект считается не соответствующим требованиям СН РК EN 1995:2008/2011.

6.1.9 Расчет конструкций должен выполняться по:

- предельным состояниям несущей способности (USL) – относящимся к формам потери устойчивости (разрушения);

- предельным состояниям эксплуатационной пригодности (SLS) – относящимся к нормальным условиям эксплуатации, например, деформации (прогибы) и условия вибрации.

В область проверок предельных состояний несущей способности (ULS) входят условия обеспечения безопасности, а предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS) – чрезмерный прогиб, уровень комфорта и внешнего вида, где в соответствии с Таблицей 1, уровень надежности, используемый в процессе проектирования, будет различным для каждого состояния.

6.1.10 Конструкция должна быть запроектирована с учетом воздействий и влияния окружающей среды, которые возникнут в процессе проектного срока эксплуатации. В соответствии с СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 предельные состояния следует относить к следующим расчетным ситуациям:

- *постоянная расчетная ситуация*: условия нормального применения конструкции;

– *переходная расчетная ситуация*: относится к временным условиям, например, процессы возведения или ремонта;

– *аварийная расчетная ситуация*: исключительные условия, применимые к конструкциям или условиям окружающей ее среды, например, взрыв или удар;

– *сейсмическая расчетная ситуация*: возникающая при сейсмических воздействиях.

В настоящем пособии требования по учету сейсмических условий при проектировании деревянных конструкций и такая расчетная ситуация – не рассматриваются. Для других расчетных ситуаций (*постоянных, переходных, аварийных*) разработчик проектной документации должен определить условия нагружения, воздействию которых конструкция будет подвержена в период проектного срока эксплуатации.

6.2 Предельные состояния несущей способности

6.2.1 Предельные состояния несущей способности относятся к безопасности людей и/или конструкций. В данные предельные состояния может быть включена защита оборудования, опирающегося на конструкцию, при условии согласования этого требования с разработчиком проектной документации.

6.2.2 Особое внимание должно быть уделено проверкам следующих предельных состояний несущей способности (ULS), относящимся к деревянным конструкциям и подлежащим рассмотрению:

- потеря равновесия всей конструкции или ее части, рассматриваемой как жесткое тело;
- потеря несущей способности в результате превышения нормируемой деформации;
- потеря несущей способности в результате нарушения целостности;
- потеря несущей способности в результате потери устойчивости.

6.3 Предельные состояния эксплуатационной пригодности

6.3.1 Предельные состояния эксплуатационной пригодности относятся к функционированию и внешнему виду конструкции, а также комфорту потребителей. В начале проектирования необходимо установить предельные состояния эксплуатационной пригодности (SLS) и провести различие между обратимыми и необратимыми состояниями.

В необратимом предельном состоянии эксплуатационной пригодности (SLS) установленные допустимые параметры непрерывно превышаются, даже после удаления воздействий, приводящих к превышению. Данные условия рассматривают способом, аналогичным для предельного состояния несущей способности (ULS), т.е. при первом превышении SLS проект будет непригодным для применения.

В обратимом предельном состоянии после удаления воздействий, приводящих к превышению допустимых параметров, превышение исключается. В данных условиях с заказчиком можно согласовать те ситуации, которые будут относиться к данной категории, а также приемлемую периодичность их возникновения.

6.3.2 СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 включает следующие три типа предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS):

- превышение не допускается;
- периодичность и продолжительность превышений подлежат согласованию с заказчиком;
- длительные превышения подлежат согласованию с заказчиком.

6.3.3 К сочетаниям воздействий, относящихся к трем типам предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS) следует относить:

- превышение не допускается – используют характеристическое сочетание;
- периодичность и продолжительность превышений подлежат согласованию – используют частое сочетание.
- длительные превышения подлежат согласованию – используют практически-постоянное сочетание.

Сочетание вышеприведенных воздействий рассмотрено в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011(4.1.3 и 6.5)

6.3.4 В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.2.3(2)) установлено, что вычисления кратковременной деформации должны быть основаны на применении характеристического сочетания воздействий. Однако, так как это не является принципом в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, при котором можно обосновать экономическую ситуацию и достичь соглашения с заказчиком по вопросу приемки обратимого состояния, то расчет может быть основан на частом, а не характеристическом сочетании эффектов от воздействий.

6.3.5 Поверки предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS), следует выполнять пользуясь критериями, касающимися:

- деформаций, которые оказывают влияние на внешний вид и приводят к повреждению наружной отделки или элементов, не относящихся к конструкции, влияют на комфорт потребителей и функционирование конструкции (включая функционирование оборудования и обслуживающего персонала);
- вибраций, приводящих к дискомфорту у людей или ограничению функциональности конструкции;
- повреждений, оказывающих отрицательное воздействие на внешний вид, долговечность или функциональность конструкции.

6.4 Классификация воздействий и их значения

6.4.1 При рассмотрении воздействий, действующих на конструкцию следует руководствоваться требованиями СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 и СН РК EN 1991 – все части.

В соответствии с СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 применяют следующие обозначения и термины:

- постоянные воздействия (G). Воздействие, которое считается действующим в течение всего заданного базового периода и изменчивостью величины которого можно пренебречь. Например, воздействия собственной массы, стационарного оборудования,

внутренних перегородок, отделки – прямые воздействия и косвенные воздействия в результате усадки и/или оседания.

- переменные воздействия (Q). Воздействия, для которых отклонения во времени от среднего значения значительны и не являются монотонными, например, прикладываемые полезные нагрузки, ветровые, снеговые и температурные нагрузки.

- аварийные воздействия (A). Воздействие, обычно непродолжительное, но значительное по величине, появление которого для заданной конструкции в течение проектного срока эксплуатации является маловероятным, например, нагрузки от взрывов и ударов.

6.4.2 Величина того или иного воздействия характеризуется его репрезентативным (типичным) значением, используемым при проектировании. Репрезентативное значение по возможности должно быть получено из статистических данных, связанных с действием. В зависимости от условия проектирования это может быть среднее значение (верхнее или нижнее) или номинальное значение, которое используют тогда, когда его значение нельзя получить из статистических данных.

6.4.3 Постоянные воздействия (G_k). Если воздействия обусловлены собственным весом материала и их изменчивость является незначительной (т. е. коэффициент вариации действия в процессе расчетного срока службы меньше 0,05 - 0,1), при расчете деревянных конструкций или относящихся к ним изделий G_k , как правило, получают, используя среднюю плотность материала.

Характеристические значения собственного веса G_k , принимают из стандартов, устанавливающих механические свойства (например, EN 338:2011 для древесины) или из СН РК EN 1991-1:2002/2011.

6.4.4 Переменные воздействия (Q_k). Характеристические значения переменных воздействий, установленных в СН РК EN 1991:2002/2011, приведены в соответствующих частях данных строительных норм.

6.4.5 Аварийные воздействия (A_d). Из-за отсутствия статистических данных, относящихся к данному состоянию, расчетное значение A_d , определяют и согласуют для каждого проекта.

6.4.6 При расчете конструкций кроме характеристических значений для переменных воздействий следует рассматривать и другие репрезентативные значения. К таким репрезентативным значениям относятся:

- комбинационное значение ($\psi_0 Q_k$), которое используется для проверки предельных состояний несущей способности (ULS) и характеристических сочетаний в необратимых предельных состояниях эксплуатационной пригодности (SLS);

- частое значение ($\psi_1 Q_k$), которое используется для проверки предельных состояний несущей способности (ULS) в особых расчетных ситуациях, а также проверки в обратимых предельных состояниях эксплуатационной пригодности (SLS);

- квазипостоянное значение ($\psi_2 Q_k$), которое используется для оценки долговременных эффектов, с целью представления переменных воздействий в особых (и сейсмических) сочетаниях при оценке несущей способности, а также для проверки частых и долговременных эффектов в предельных состояниях эксплуатационной пригодности (SLS).

6.4.7 Значения коэффициентов ψ_0 , ψ_1 и ψ_2 приведены в Таблице НП А1.1 СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011, а некоторые значения, относящиеся к нагрузкам для зданий из деревянных конструкций, представлены в Таблице 2.

6.5 Свойства материалов

6.5.1 Характеристикой свойств материалов являются их характеристические значения. Для древесины и материалов на ее основе характеристическими значениями могут быть значение 5 %-го квантиля или среднее значение. Значение 5 %-го квантиля применяется к свойствам прочности, а среднее значение, как правило – к свойствам жесткости. Исключением из этого правила является случай, когда функции жесткости используют для определения значений свойств прочности.

6.5.2 Характеристические значения свойств древесины и некоторых распространенных материалов на основе древесины приведены в Разделе 7 (Часть 2) пособия.

Таблица 2 – Значения коэффициентов* ψ

Переменное воздействие	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Категория переменных нагрузок (см. СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011)			
Категория А: коммунальные и жилые помещения	0,7	0,5	0,3
Категория В: офисные помещения	0,7	0,5	0,3
Категория С: помещения со значительным скоплением людей	0,7	0,7	0,6
Категория Е: складские помещения			
Категория Н: крыши (с учетом того, что действующие нагрузки не применяют со снеговыми или ветровыми нагрузками (см. СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (3.3.2(1)))	1,0	0,9	0,8
Снеговые нагрузки на здания	0,7	0	0
для местности, расположенной на высоте не более 1000 м над уровнем моря	0,7	0,5	0,2
Ветровые нагрузки на здания	0,6	0,2	0
* На основании Таблицы НП.А1.1 СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011			

6.6 Статический расчет конструкций

6.6.1 Статический расчет конструкций следует выполнять используя соответствующие их модели. Линейно-упругий расчет базируется на линейной зависимости напряжений от деформаций и может включать:

– линейно-упругий расчет первого порядка без перераспределения усилий. Его проводят на изначально определенной геометрии конструкции и ее элементах без

корректировки внутренних усилий. Он положен в основу большинства компьютерных программ линейного анализа первого порядка (Рисунок 1а);

– линейно-упругий расчет первого порядка с перераспределением усилий. Его проводят на изначально определенной геометрии конструкции и ее элементах, при этом корректируют внутренние усилия без дополнительных расчетных проверок углов поворота.

– линейно-упругий расчет второго порядка. Его проводят на геометрии деформированной конструкции (Рисунок 1б).

6.6.2 Нелинейный расчет основан на нелинейной зависимости напряжения-деформации в соответствии с Рисунок 2. Он может включать:

– нелинейный расчет первого порядка. Данный расчет выполняется на изначально определенной геометрии конструкции.

– нелинейный расчет второго порядка. Он выполняется на геометрии деформированной конструкции.

6.6.3 В зависимости от принятой модели (диаграммы «напряжения – деформации») к нелинейному расчету, включающему пластическое поведение относятся:

– упруго-идеально-пластический (Рисунок 2а) – линейно-упругий, за которым следует чистое пластическое поведение;

– упругопластический с упрочнением (Рисунок 2б) – линейно-упругий, за которым следует пластическое поведение с деформационным упрочнением;

– жесткопластический (Рисунок 2г) – чистое пластическое поведение, используют для оценки предельной нагрузки (например, поведения соединений, выполненных с помощью нагельных соединительных элементов в деревянных конструкциях).

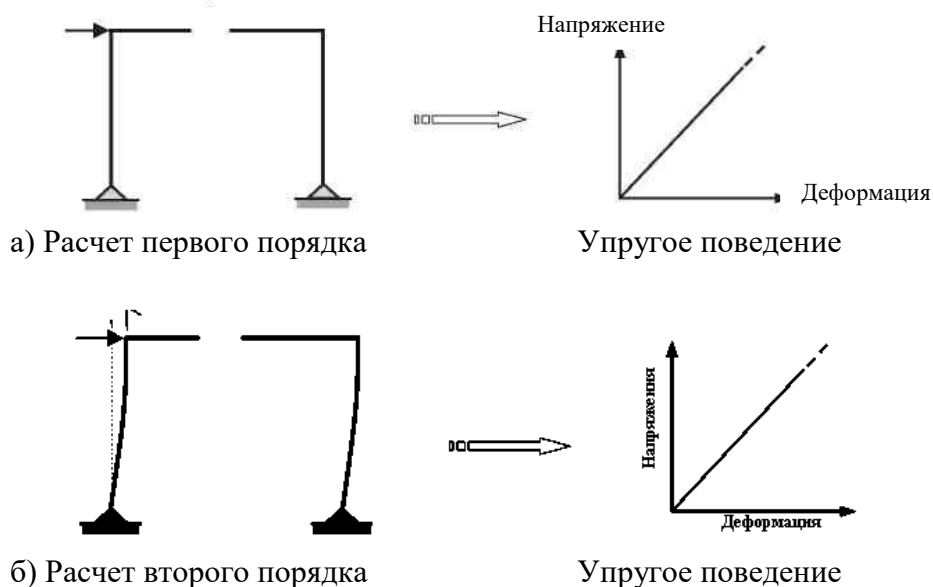


Рисунок 1 - Линейно-упругий расчет первого и второго порядка

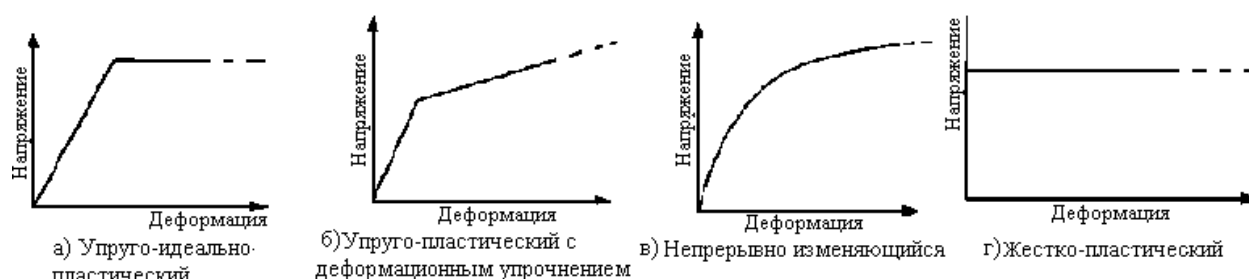


Рисунок 2 - Диаграммы деформирования, используемые в нелинейном расчете

6.6.4 При определении усилий в конструкциях из древесины и материалов на ее основе, учитывая хрупкий характер разрушения под воздействием растяжения, следует использовать в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 линейно-упругий анализ. При выполнении статического расчета необходимо учитывать отклонения элементов от прямолинейности, используя требования, установленные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

6.6.5 При рассмотрении плоских каркасов или арок необходимо использовать линейный расчет второго порядка в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (5.4.4).

6.6.6 При рассмотрении соединений элементов деревянных конструкций в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 их принимают как жесткие в том случае, если они не обладают податливостью, которая может повлиять на распределение внутренних усилий в конструкции. В противном случае соединения рассматривают как полужесткие путем включения поведения жесткости соединений в расчетную модель и выполняют линейный упругий расчет полужесткой конструкции.

6.6.7 Для проектирования конструкции и ее элементов используется метод частных коэффициентов. При применении данного метода эффекты воздействий умножаются на частные коэффициенты с целью получения расчетного значения Ef_d , а для получения расчетного сопротивления R_d , в условиях предельных состояний несущей способности (ULS) и эксплуатационной пригодности (SLS), значения сопротивлений, полученные из прочности материала, делят на частные коэффициенты. В соответствующем предельном состоянии проводят проверку для доказательства того, что Ef_d меньше или равно расчетному сопротивлению R_d , т.е.

$$Ef_{d_{ULS}} \leq R_{d_{ULS}} \text{ и } Ef_{d_{SLS}} \leq R_{d_{SLS}} \quad (6.1)$$

6.6.8 В качестве значений, применяемых к воздействиям и свойствам материала, используются репрезентативные или другие характеристические значения. Значения, используемые в качестве частных коэффициентов, изменяются в зависимости от рассматриваемого предельного состояния. Все значения должны быть такими, чтобы можно было достичь уровня надежности, установленного в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (2.2) для конструкции при проверке данного предельного состояния.

6.7 Расчетные значения воздействий и свойств материалов

6.7.1 В общем виде расчетное значение воздействия F_d определяется по формуле

$$F_d = \gamma_f F_{\text{rep}}, \quad (6.2)$$

где

$$F_{\text{rep}} = \psi F_k, \quad (6.3)$$

F_{rep} – репрезентативное значение, которое необходимо учитывать при соответствующем сочетании воздействий. В качестве F_{rep} может выступать основное характеристическое значение F_k , комбинационное значение $\psi_0 F_k$, частое значение $\psi_1 F_k$, или практически-постоянное значение $\psi_2 F_k$. Здесь

F_k – характеристическое значение воздействия;

$\psi = 1,00$, ψ_0 , ψ_1 или ψ_2 .

6.7.2 При проектировании конструкций необходимо учитывать эффекты воздействий, Ef_d , представляющие собой реакции конструкции на действующие нагрузки, которые охватывают результирующие величины внутреннего напряжения (например, моменты, поперечные силы, осевые силы, напряжение или деформацию) и деформации конструкции (например, отклонения и углы поворота).

6.7.3 В соответствии с СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011(6.3.2 (1)) расчетное значение эффектов воздействий можно представить в общем виде следующим образом

$$Ef_d = \gamma_{sd} Ef \{ \gamma_{fi} F_{\text{rep},i}; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (6.4)$$

где γ_{sd} – частный коэффициент, учитывающий неопределенности при моделировании эффектов воздействий;

γ_{fi} – частный коэффициент воздействия i , учитывающий возможность неблагоприятных отклонений значений от характеристических значений;

a_d – расчетное значение геометрических данных (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 10));

i – число характерных воздействий.

6.7.4 При проектировании конструкций из древесины и древесных материалов в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 частные коэффициенты γ_f и γ_{sd} объединены в один коэффициент γ_F (т.е. $\gamma_F = \gamma_f \cdot \gamma_{sd}$), при таком упрощении Формула (6.4) имеет следующий вид

$$Ef_d = Ef \{ \gamma_{Fi} F_{\text{rep},i}; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (6.5)$$

6.7.5 В СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 при определении расчетного значения постоянного воздействия γ_F определяют как γ_G , а при определении расчетного значения переменного воздействия – как γ_Q . Значения γ_G и γ_Q зависят от рассматриваемых

предельных состояний.

6.7.6 Расчетное значение X_d свойства материала или изделия можно получить для предельных состояний несущей способности (ULS) и эксплуатационной пригодности (SLS) из Формулы (6.6). Эти значения, при проектировании деревянных конструкций, всегда относятся к значениям, используемым в расчетах предельных состояний несущей способности (ULS).

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m}, \quad (6.6)$$

где X_k – характеристическое значение свойства;

η – среднее значение коэффициента перевода, учитывающее эффекты объема и размеров, влаги и температуры, а также других параметров;

γ_m – частный коэффициент, учитывающий возможность того, что собственное значение свойства материала или изделия (например, прочность или жесткость) может быть меньше заданного значения, а также эффект разброса вокруг среднего значения коэффициента преобразования.

6.7.7 В СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 коэффициент η характеризует влияние продолжительности действия нагрузки и изменения влажности на свойства древесины и изделий из древесины. Он называется коэффициентом приведения (модификации) k_{mod} . Этот коэффициент модификации является чрезвычайно важным при проектировании деревянных конструкций.

Коэффициенты, характеризующие эффекты размеров и объема, приводятся отдельно в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и в Разделе 7.5 настоящего пособия. В следующих подразделах настоящего пособия приведено краткое разъяснение того, как учитывается влияние продолжительности действия нагрузки и влажности.

6.7.8 При проектировании деревянных конструкций следует учитывать класс продолжительности действия нагрузки. В соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.3.1.2) установлены классы продолжительности действия нагрузки, которые приводятся в Таблице 3.

6.7.9 Класс продолжительности действия нагрузки от собственного веса следует принимать как «постоянное» воздействие, а «переменные» воздействия относятся к одному из оставшихся классов, установленных в Таблице 3. Они определяются продолжительностью действия на конструкцию.

6.7.10 При проектировании деревянных конструкций следует учитывать температурно-влажностные условия эксплуатации, которым подвержены материалы на протяжении расчетного срока службы конструкции. Для учета данного эффекта при проектировании должен быть принят, в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.3.1.3), класс эксплуатации конструкции.

6.7.11 Значения k_{mod} , основанные на продолжительности действия нагрузки, а также классы эксплуатации, применяемые к изделиям из древесины и древесных материалов, следует принимать по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1).

6.7.12 Поскольку характеристические значения прочности древесины и материалов на ее основе определяются при соответствующих испытаниях стандартных образцов, а проектируемые элементы конструкций могут отличаться по своим геометрическим размерам от стандартных, то для учета этих отличий, при определении расчетных свойств, следует руководствоваться требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Это учитывается путем умножения характеристического значения на коэффициент k_h или k_f . Данные коэффициенты приведены в Таблице 4 и рассмотрены в Разделе 7.5 настоящего пособия.

Таблица 3 - Классы продолжительности действия нагрузки *

Класс	Период времени	Примеры, приведенные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011
Постоянные	>10 лет	Собственный вес
Длительные	от 6 месяцев до 10 лет	Нагрузка при хранении (включая хранение в торговых помещениях) Резервуары для воды
Средней продолжительности	от 1 недели до 6 месяцев	Нагрузки на перекрытие Снеговые нагрузки
Кратковременные	<1 недели	Нагрузки при техническом обслуживании или нагрузки от людей, находящихся на крыше Часть оставшейся конструкции после чрезвычайных ситуаций Ветровые нагрузки
Мгновенные	Мгновенные	Ветровые нагрузки Нагрузки от ударов Нагрузки от взрывов
* На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.		

6.7.13 Значения частного коэффициента свойств материала γ_m следует принимать по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 2.3) или по Национальному приложению. Данный коэффициент учитывает уровень неопределенности модели сопротивления, используемой при проектировании, а также отрицательное влияние геометрических отклонений в дополнение к влиянию отклонения материала или свойства изделия.

6.7.14 При определении расчетных значений свойств жесткости, используемых для расчета деформации и несущей способности следует руководствоваться требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Для изделий из древесины и материалов на ее основе эти значения зависят от рассматриваемого предельного состояния при проектировании, т.е.: является ли это расчет отклонения, в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS), или расчетом напряжения в условиях предельного состояния несущей способности (ULS); оказывает ли влияние распределение жесткости на распределение внутренних усилий в конструкции (или элементе); а также вид линейного расчета,

который необходимо проводить – расчет первого или второго порядка.

Таблица 4 - Коэффициенты, учета влияния размера элемента на свойства прочности

Обозначение коэффициента размера	Назначение коэффициента	Характеристическое свойство	Соответствующий раздел в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011
k_h	Корректирует характеристическую прочность при изгибе и/или растяжении вдоль волокон, с целью учета влияния размера элемента, когда размер меньше исходного размера, приведенного в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011	$f_{m,k}$	Цельная древесина 3.2(3); многослойная клееная древесина 3.3(3); брус на основе клееного шпона (LVL) 3.4(3);
		$f_{t,0,k}$	Цельная древесина 3.2(3); многослойная клееная древесина 3.3(3);.
k_l	Корректирует характеристическую прочность при растяжении, вдоль волокон бруса на основе клееного шпона, с целью учета влияния длины элемента, когда длина меньше исходной длины, приведенной в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011	$f_{t,0,k}$	Брус на основе клееного шпона, 3.4(4).

6.7.15 Расчетные значения свойств жесткости E_d или G_d проектируемого элемента следует определять из соответствующего среднего значения в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.4.1 (2)Р) по формулам

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}, \quad (6.7)$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}, \quad (6.8)$$

где E_{mean} – среднее значение модуля упругости изделия из древесины или древесного материала;

G_{mean} – среднее значение модуля сдвига изделия из древесины или древесного материала.

Примечание – Формулы (6.7) и (6.8) применимы только при проведении линейно- упругого расчета первого порядка в случае действия кратковременной нагрузки в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS) с $\gamma_M = 1$, или при проведении линейно-упругого расчета первого порядка в условиях предельного состояния несущей способности (ULS), со значением γ_M принятым из

СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 2.3). В других состояниях значение свойства жесткости элемента будет иным. Эти требования рассмотрены в Разделе 7.2 настоящего пособия.

6.7.16 При рассмотрении соединений под воздействием кратковременной нагрузки расчетную жесткость в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS) следует определять с помощью модуля податливости K_{ser} , приведенного в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 7.1). В условиях предельного состояния несущей способности (ULS) расчетной жесткостью является K_u , которая, как установлено в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.2.2(2)), составляет $(2/3) K_{ser}$.

Примечание – Для других условий значение жесткости соединения будет иным. Эти требования рассмотрены в Разделе 7.2 настоящего пособия.

6.7.17 В условиях предельных состояний несущей способности расчетными значениями модуля упругости и модуля сдвига, используемыми при вычислении несущей способности, являются характеристические значения $E_{0,05}$ и $G_{0,05}$, соответственно.

6.7.18 При проектировании деревянных конструкций и их элементов, в условиях предельного состояния несущей способности (ULS), следует учитывать другие факторы, которые могут оказать влияние на свойства, например, влияние потери устойчивости, несущей способности системы и т.д. Учет этих факторов осуществляется путем применения коэффициентов, установленных в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, которые приведены в Таблице 5.

6.7.19 При проектировании деревянных конструкций и их элементов за расчетные значения геометрических данных (размеры конструкции и ее элементов, а также допустимое максимальное отклонение от прямолинейности), в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 10), принимаются номинальные значения, полученные из стандартов на изделия или рабочих чертежей.

Примечание – В соответствующих случаях расчетные уравнения, приведенные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, включают влияние возникновения максимально допустимых отклонений, указанных в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 10).

6.7.20 В соответствии с требованиями СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 расчетное значение сопротивления в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.4.3) определяются следующим образом

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}, \quad (6.9)$$

где k_{mod} – коэффициент преобразования (модификации), который учитывает влияние продолжительности нагрузки и влажности;

γ_M – частный коэффициент свойства материала в условиях предельного состояния несущей способности (ULS);

R_k – характеристическое значение прочности в условиях предельного состояния несущей способности (ULS).

Таблица 5 - Распространенные коэффициенты, установленные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, оказывающие влияние на расчетные значения

Обозначение коэффициента	Функция коэффициента	Подверженное влиянию свойство	Соответствующий(ие) раздел(ы) в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011
k_m	Учитывает перераспределения напряжений в сечении, когда элемент подвержен изгибу в плоскостях xu и xz . Также учитывает изменение прочности материала сечения элемента.	$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$	6.1.6(2)
k_{vol}	Корректирует расчетное значение прочности древесины при растяжении поперек волокон в двускатных, гнуто-клееных и гнуто-клееных с прямолинейными скатами балках, изготовленных как из многослойной клееной древесины, так и клееного шпона (LVL), когда объем древесины, расположенной в коньковой зоне балки, превышает объем, установленный в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.	$f_{t,90,d}$	3.3(5), 3.4(7), 6.4.3(6), 6.4.3(7)
k_{dis}	Корректирует расчетное значение прочности древесины при растяжении поперек волокон в двускатных, гнуто-клееных и гнуто-клееных с прямолинейными скатами балках, изготовленных как из многослойной клееной древесины, так и клееного шпона (LVL).	$f_{t,90,d}$	6.4.3(6), 6.4.3(7)
k_{crit}	Учитывает влияние бокового выпучивания при изгибе элемента, уменьшая расчетную прочность древесины при изгибе в плоскости xu , когда относительный коэффициент гибкости $>0,75$	$f_{m,y,d}$	6.3.3(3)
k_{cy}, k_{cz}	Учитывает влияние потери устойчивости при осевом сжатии элемента, уменьшая расчетное значение прочности при сжатии при относительном коэффициенте гибкости относительно оси $u-u$ $\lambda_{rel,y} >0,3$ и/или оси $z-z$ $\lambda_{rel,z} >0,3$	$f_{c,0,d}$	6.3.2
$k_{c,90}$	Учитывает геометрические параметры опорных частей элементов конструкций при сжатии поперек волокон. Увеличивает прочность древесины или древесных материалов в опорных зонах при сжатии поперек волокон.	$f_{c,90,d}$	6.1.5
k_v	Учитывает влияние подрезки на прочность элемента при сдвиге	$f_{v,d}$	6.5.2
k_{sys}	Увеличивает свойства прочности материала, когда обеспечена пространственная работа конструкций как единой системы, способной перераспределять нагрузку между ее элементами.	Все свойства прочности.	6.6

6.8 Расчетные сочетания воздействий для предельных состояний несущей способности

6.8.1 При проектировании конструкций необходимо проверять следующие предельные состояния несущей способности (ULS) если они являются значимыми:

– равновесие (EQU). Для подтверждения того, что конструкция или любая ее часть, рассматриваемая как жесткое тело, является устойчивой (не теряет равновесия) в случае когда:

– незначительные изменения в значении или пространственном распределении воздействий одного происхождения являются существенными;

– прочность материалов конструкции или основания не оказывают влияния на предельное состояние;

– прочность (STR). Для подтверждения того, что конструкция и ее элементы не подвергнутся разрушению под воздействием напряжения в результате потери устойчивости элементов или в местах соединений. Если на поведение конструкции влияют смещения, то необходимо учесть их влияние;

– геотехнические (GEO). Для подтверждения того, что фундамент здания обеспечивает необходимую для конструкции прочность и жесткость;

– усталость (FAT). Для подтверждения того, что элементы конструкции не подвергнутся разрушению под воздействием усталости.

Для конструкций из древесины или материалов на ее основе, как правило, являются важными предельные состояния несущей способности (ULS) равновесия, прочности, геотехнические и любое другое состояние, которые учтены в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 с помощью требований к несущей способности (STR).

6.8.2 При проверках соответствующих предельных состояний несущей способности (ULS) следует применять сочетание нагрузок путем использования метода частных коэффициентов с проверкой того, что расчетное значение эффекта проектных воздействий меньше или равно расчетному значению эквивалентного сопротивления.

6.8.3 Расчетное значение эффекта воздействий следует определять путем объединения тех воздействий, которые могут рассматриваться как действующие одновременно. При наличии более одного переменного воздействия, каждое сочетание будет включать в себя одно из переменных воздействий в качестве доминирующего переменного воздействия.

6.8.4 Расчетное сочетание при проверках предельных состояний несущей способности определяется по СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Формула 6.10) :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} , \quad (6.10)$$

В качестве альтернативы Формуле (6.10) для предельных состояний STR (и GEO) можно рассматривать менее благоприятное из следующих сочетаний,

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} , \quad (6.11)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} , \quad (6.12)$$

где γ_G - частный коэффициент для постоянной нагрузки;

γ_Q - частный коэффициент для переменной нагрузки;

ψ_0 - коэффициент преобразования переменных воздействий в комбинационное значение;

ξ - коэффициент уменьшения неблагоприятных постоянных воздействий;

G_k - постоянное воздействие;

$Q_{k,1}$ - доминирующее переменное воздействие.

6.8.5 При проверках предельных состояний в особых расчетных ситуациях следует применять одно сочетание воздействий, которое определяется по Формуле (6.11b) в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011,

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ è è è } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}, \quad (6.13)$$

где A_d - расчетное значение особого воздействия для особой расчетной ситуации (например, воздействия из-за удара или косвенного теплового воздействия в результате пожара) или относится к условиям, сложившимся после случайной ситуации. В данном случае $A_d = 0$;

ψ_1 и ψ_2 - частные коэффициенты сочетаний, преобразующие переменное воздействие в частое и практически-постоянное значение, соответственно, которые приведены в 6.4.7 настоящего пособия.

6.8.6 Численные значения коэффициентов γ и ξ , используемые для получения расчетных значений воздействий предельных состояний по равновесию (EQU) и прочности (STR), которые не связаны с геотехническими воздействиями, в условиях постоянных и временных проектных ситуаций, приведены в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблица A1.2(A) НП), а значения, применимые ко всем предельным состояниям несущей способности (ULS) в условиях особой расчетной ситуации, приведены в НП СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблица A1.2(B)). Значения коэффициентов ψ , приведенные в Таблице 6.2, основываются на данных СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблица A1.1 НП).

6.8.7 Для определения случая, когда нагрузка оказывает наибольшее влияние (т.е. максимальный изгибающий момент, поперечная сила и т.д.), следует применять формулу(ы) сочетания нагрузок с каждым переменным воздействием, выступающим в качестве доминирующего переменного воздействия. В случае, когда переменные нагрузки не взаимосвязаны, следует рассмотреть все возможные сочетания. Например, предельное состояние STR для свободно опертой балки, воспринимающей нагрузку собственного веса $G_{k,1}$, постоянную нагрузку $G_{k,2}$, переменную нагрузку средней продолжительности $Q_{k,1}$ и кратковременную переменную нагрузку $Q_{k,2}$. Применяя Формулу (6.10), альтернативными условиями нагрузки, которые необходимо рассмотреть для определения воздействия E_f , например, изгибающего момента, являются

$$1,35(G_{k1} + G_{k2}) \rightarrow E_{f1} \quad (6.14)$$

$$1,35(G_{k1} + G_{k2}) + 1,5Q_{k1} \rightarrow Ef_2 \quad (6.15)$$

$$1,35(G_{k1} + G_{k2}) + 1,5Q_{k2} \rightarrow Ef_3 \quad (6.16)$$

$$1,35(G_{k1} + G_{k2}) + 1,5Q_{k1} + 1,5\psi_{0,2}Q_{k2} \rightarrow Ef_4 \quad (6.17)$$

$$1,35(G_{k1} + G_{k2}) + 1,5Q_{k2} + 1,5\psi_{0,1}Q_{k1} \rightarrow Ef_5 \quad (6.18)$$

6.8.8 В случае, когда сочетание нагрузок состоит из воздействий, принадлежащих к различным классам продолжительности нагрузки, то влияние продолжительности на свойство элемента деревянной конструкции или материала на основе древесины следует учитывать путем использования коэффициента преобразования k_{mod} .

6.8.9 При проектировании деревянных конструкций и их элементов следует учитывать, что эффекты сочетаний постоянных и переменных воздействий оказывают меньшее влияние на свойства прочности, чем отдельные постоянные воздействия. Если используют сочетание постоянных и переменных воздействий, расчетное условие будет обусловлено переменным воздействием наименьшей продолжительности, и к рассматриваемому свойству прочности применяют коэффициент преобразования k_{mod} , соответствующий воздействию наименьшей продолжительности.

6.9 Расчетные сочетания воздействий для предельных состояний эксплуатационной пригодности

6.9.1 При проектировании деревянных конструкций необходимо проверять предельные состояния эксплуатационной пригодности по деформациям и вибрации (колебаниям). В данных состояниях должно соблюдаться следующее условие:

$$Ef_d \leq C_d, \quad (6.19)$$

где Ef_d – расчетное значение эффекта воздействий в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS);

C_d – предельное расчетное значение соответствующего критерия эксплуатационной пригодности (т.е. критерия перемещения или вибрации), приведенного в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

В условиях SLS частные коэффициенты γ_G и γ_Q , используемые для вычисления расчетного значения эффектов воздействий, следует принимать равными 1, а конкретные нагрузки, используемые для данных состояний, приведены ниже.

6.9.2 На вибрационные воздействия, согласно требований СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, проверяются перекрытия жилых помещений. Расчетными условиями нагрузки, составляющими расчетное значение в условиях эксплуатационной пригодности (SLS), являются:

- масса перекрытия, используемая для определения наименьшей частоты собственных колебаний конструкции перекрытия;
- вертикальная сила в 1 кН, моделирующая движение при ходьбе, которая прикладывается в такой точке перекрытия, чтобы вертикальные отклонения достигали максимальной величины;
- импульс в 1 Н с, применяемый в точке максимального мгновенного вертикального отклонения, используемый для определения максимального исходного значения скорости вертикальной вибрации перекрытия в результате воздействия силы, возникающей при ходьбе.

6.9.3 Для определения перемещений в условиях предельных состояний эксплуатационной пригодности, в соответствии с требованиями СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011, следует использовать следующие сочетания воздействий:

- *характеристическое сочетание*;
- *частое сочетание*;
- *практически-постоянное сочетание*.

Данные сочетания определяются следующим образом:

Характеристическое сочетание (6.20) применяется к необратимым предельным состояниям (т.е. состояниям, при которых наблюдается постоянное нарушение предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS), даже после удаления воздействий, которые привели к его превышению) и используемым в СН РК EN 1995-1-1 (2.2.3). Здесь Формула (6.20) приравнивается к Формуле (6.10), когда частные коэффициенты (γ_G и γ_Q) в Формуле (6.10) равны единице;

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.20)$$

Частое сочетание (6.21) следует применять к обратимым предельным состояниям (т.е. если нарушение состояния исчезает при исключении воздействия, которое привело к превышению). Несмотря на то, что данный вариант не рассмотрен в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, допускается применение сочетания при условии возможности достижения соглашения с заказчиком относительно тех ситуаций, которые попадают в данную категорию, а также приемлемой частоты возникновения

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.21)$$

Практически-постоянное сочетание (6.22) следует применять для оценки продолжительных эффектов (ползучести)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.22)$$

6.9.4 Для определения расчетного значения следует применять характеристическое сочетание с каждым переменным воздействием, выступающим в качестве доминирующей

переменной, из которого определяют условие максимальной нагрузки. Если в качестве критерия деформации принимают обратимое предельное состояние по прочности, то предпочтительным является использование повторяемого, а не характеристического сочетания.

6.9.5 Полную деформацию (перемещение) следует определять путем суммирования мгновенной деформации (перемещения) и деформации (перемещения) в результате ползучести.

7 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СН РК EN 1995-1-1:2008/2011

7.1 Общие положения

7.1.1 В данном разделе пособия рассмотрены вопросы, относящиеся к содержанию СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, которые не были рассмотрены в Разделе 6 и требующие дальнейшего разъяснения.

7.1.2 В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 продольной осью является ось $x-x$, которая соответствует направлению волокон древесины, а оси $y-y$ и $z-z$ в поперечном сечении элемента называют главной(большой) и второстепенной (малой) осью (Рисунок 3).

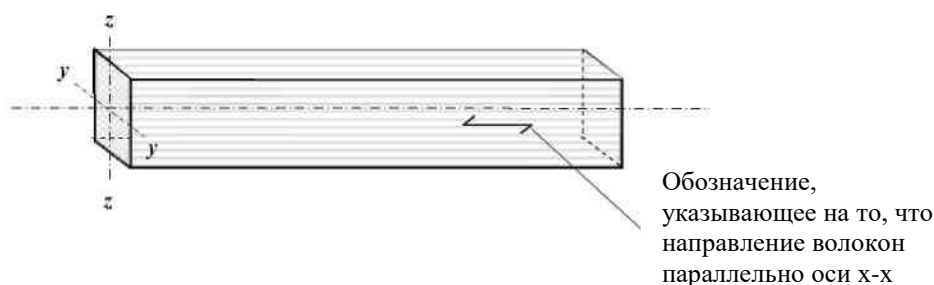


Рисунок 3 - Оси элемента

7.2 Влияние продолжительности действия нагрузки и влажности на прочность и деформативность материалов

7.2.1 Влияние продолжительности действия нагрузки и влажности на прочность древесины при проектировании деревянных конструкций следует учитывать с помощью коэффициента модификации k_{mod} . Значения коэффициента k_{mod} следует принимать по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1).

7.2.2 При расчете соединения, состоящего из двух деревянных элементов, с различным поведением во времени $k_{mod,1}$ и $k_{mod,2}$, коэффициент модификации k_{mod} , используемый для проверки несущей способности соединения, следует определять по формуле

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} k_{mod,2}} \quad (7.1)$$

7.2.3 В условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS) для проверки соответствия критериям SLS при мгновенном и окончательном перемещении расчет деформации проводят в каждом состоянии, а если конструкция содержит элементы, компоненты или соединения с различными свойствами, зависящими от времени, то необходимо учесть влияние ползучести на свойства жесткости.

7.2.3.1 В условиях мгновенного состояния расчет следует выполнять с применением расчетного значения сочетания воздействий для SLS, т. е. применяют Формулу (6.20) или (6.21) в зависимости от применяемого сочетания воздействий - характеристического или практически-постоянного. На основании требования СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.2.3(2)), в данном состоянии ползучесть элемента не является определяющей, поэтому для получения свойств жесткости используют среднее значение соответствующего модуля упругости, модуля сдвига и модуля податливости (скольжения) – далее модуля податливости.

7.2.3.2 Для расчета окончательной деформации конструкции, характеризующейся линейно-упругим поведением и состоящей из элементов, компонентов и соединений с одинаковой ползучестью, в качестве расчетного значения сочетаний воздействий следует принимать сумму воздействий, используемых в расчете мгновенного состояния, приведенного в 7.2.3.1, плюс практически-постоянное сочетание, т. е. использовать Формулу (6.22). В данной ситуации ползучесть не будет влиять на напряжение, поэтому свойства жесткости будут аналогичны свойствам, используемым при расчете мгновенного состояния.

7.2.3.3 Если конструкция состоит из элементов, компонентов и соединений с различной ползучестью, то это будет сказываться на деформациях. В данном состоянии нагрузка, используемая при расчете окончательной деформации, будет такой же, как и для п.7.2.3.1, а влияние ползучести на величину деформации следует определять с помощью применения свойств уменьшенной жесткости элементов конструкции. Свойства уменьшенной жесткости определяют, применяя средние окончательные значения модуля упругости, модуля сдвига и модуля податливости, по формулам СН РК EN 1995-1-1:2008/2011

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad (7.2)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad (7.3)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad (7.4)$$

где $E_{\text{mean,fin}}$ - окончательное среднее значение модуля упругости;

E_{mean} - среднее значение модуля упругости;

$G_{\text{mean,fin}}$ - окончательное среднее значение модуля сдвига;

G_{mean} - среднее значение модуля сдвига;

$K_{\text{ser,fin}}$ - окончательный модуль податливости;

K_{ser} - модуль податливости, установленный в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 7.1);

k_{def} - коэффициент деформации изделий из древесины и древесных материалов. Для соединений он принимается по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2).

7.2.3.4 Расчетными значениями свойств жесткости, используемых в расчетах, являются

$$E_{\text{d,SLS}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad G_{\text{d,SLS}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad K_{\text{d,SLS}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})}, \quad (7.5)$$

где $E_{\text{d,SLS}}$ - расчетное значение окончательного среднего значения модуля упругости в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS);

$G_{\text{d,SLS}}$ - расчетное значение окончательного среднего значения модуля сдвига в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS);

$K_{\text{d,SLS}}$ - расчетное значение окончательного модуля податливости в условиях предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS).

7.3 Расчет предельных состояний несущей способности

7.3.1 Расчет предельных состояний несущей способности следует проводить с целью проверки прочности и устойчивости элемента на действие расчетной нагрузки, которая оказывает наибольшее влияние при проектировании и выбирается из сочетаний воздействий, приведенных в п.п 6.8.1 – 6.8.9 настоящего пособия.

7.3.1.1 При проведении линейно-упругого расчета первого порядка (см. 6.6.1 – 6.6.3) конструкции и когда результирующие внутреннего напряжения не влияют на распределение жесткости в конструкции, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.2.2(1)P) в качестве свойств жесткости следует использовать средние значения соответствующего модуля упругости, модуля сдвига и модуля податливости. Данное условие применимо в случае, если все элементы обладают одинаково зависящими от времени свойствами и тогда соответствующими свойствами жесткости являются E_{mean} , G_{mean} и K_{ser} .

7.3.1.2 При проведении линейно-упругого расчета первого порядка конструкции и когда распределение результирующих внутреннего напряжения не влияет на распределение жесткости в конструкции в мгновенном состоянии, следует применять соответствующие свойства жесткости, приведенные в 7.3.1.1. Это относится к конструкциям, элементы и соединения которых обладают различными зависящими от времени свойствами, или содержащим составные элементы, в которых используемые материалы обладают различными зависящими от времени свойствами. В окончательном состоянии, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.2.2(1)P), свойства определяют с помощью окончательного среднего значения соответствующего модуля упругости, модуля сдвига и модуля податливости, приведенных в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.3.2.2(2)). Окончательные средние значения свойств

жесткости корректируют с учетом одной из составляющих нагрузок, вызывающей наибольшее напряжение по отношению к прочности, по формулам:

$$E_{\min, \text{fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}, \quad (7.6)$$

$$G_{\min, \text{fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}, \quad (7.7)$$

$$K_{\text{ser}, \text{fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}, \quad (7.8)$$

где ψ_2 — значение коэффициента практически-постоянного воздействия, вызывающего наибольшее напряжение. Если это является постоянным воздействием, то используют значение равное 1. Если определение ψ_2 считается сложным, то допускается принимать в качестве коэффициента значение 1 (значение ψ_2 см. в Таблице 6.2 настоящего пособия).

7.3.1.3 При проведении линейно-упругого расчета второго порядка (см.6.6.1) в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.2.2(1) Р), свойства жесткости следует определять, используя расчетные значения соответствующего модуля упругости и/или модуля сдвига согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.4.1(2)Р). Для соединений значением, используемым в качестве модуля податливости, является K_u , как установлено в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.2.2(2)).

7.3.1.4 После определения свойств жесткости в соответствии с вышеуказанными требованиями (7.3.1.1 – 7.3.1.3), расчетным значением, используемым в расчете предельных состояний несущей способности (ULS), является:

– для случая 7.3.1.1

$$E_{\text{d}, \text{ULS}} = E_{\text{mean}}, \quad G_{\text{d}, \text{ULS}} = G_{\text{mean}}, \quad K_{\text{d}, \text{ULS}} = K_{\text{ser}} \quad (7.9)$$

– для случая 7.3.1.2 (окончательное состояние)

$$E_{\text{d}, \text{ULS}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}, \quad G_{\text{d}, \text{ULS}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})}, \quad K_{\text{d}, \text{ULS}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad (7.10)$$

– для случая 7.3.1.3

$$E_{\text{d}, \text{ULS}} = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M}, \quad G_{\text{d}, \text{ULS}} = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M}, \quad K_{\text{d}, \text{ULS}} = K_u \quad (7.11)$$

где $E_{\text{d}, \text{ULS}}$ - расчетное значение модуля упругости при ULS;

$G_{d,ULS}$ - расчетное значение модуля сдвига при ULS;
 $K_{d,ULS}$ - расчетное значение модуля податливости при ULS;
 γ_M - частный коэффициент свойства материала (или соединения), установленный в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Примечание – В Формулах (7.9 – 7.11) необходимо учитывать, что значение k_{def} должно соответствовать требованиям 7.4.1 и 7.4.2.

7.3.2 При расчетах деревянных конструкций и их элементов зависимость «напряжение-деформация», согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (3.1.2), следует принимать линейной несмотря на то, что фактическая зависимость «напряжение-деформация» для изделий из древесины и древесных материалов под воздействием разрушающей нагрузки является нелинейной. Следовательно, при вычислении расчетного напряжения в сечении (при изгибе, осевом сжатии и растяжении, сдвиге и т.д.), предполагается существование упругого поведения до состояния разрушения. Если в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 установлено, что пластическое поведение можно учесть с целью увеличения прочности элемента, то это следует включать в соответствующие правила проверки прочности, приведенные в СН РК EN.

7.4 Расчет предельных состояний эксплуатационной пригодности в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011

7.4.1 В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 выделено две составляющие деформации (прогиба) элемента или конструкции (см. Рисунок 4):

- мгновенная деформация u_{inst} , как результат действия при кратковременном приложении нагрузки;
- окончательная деформация u_{fin} , как результат всех зависящих от времени перемещений (деформаций ползучести u_{creep}).

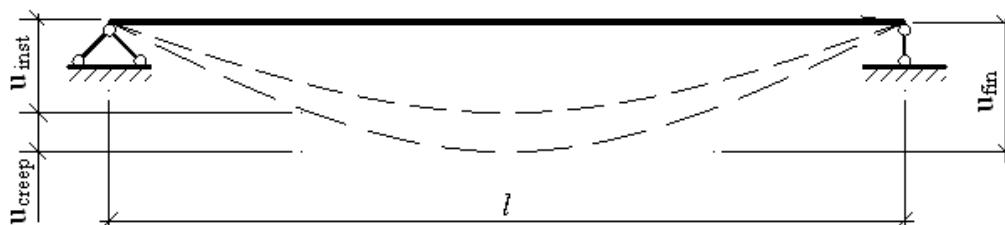


Рисунок 4 – Деформации

7.4.2 В зависимости от ползучести конструкции величину деформации следует определять двумя способами:

7.4.2.1 Конструкции, содержащие элементы и соединения, обладающие одинаковой ползучестью. В этом случае мгновенную деформацию (u_{inst}) и деформацию ползучести (u_{creep}), под воздействием постоянной нагрузки в течение всего срока службы здания, следует определять из выражения

$$u_{\text{creep}} = k_{\text{def}} u_{\text{inst}}, \quad (7.12)$$

где k_{def} – коэффициент деформации, значение которого зависит от типа материала, подверженного воздействию, а также его влажности.

Примечание – Значения коэффициента k_{def} получены для древесины и древесных материалов в определенных условиях окружающей среды под воздействием постоянной нагрузки для предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS) на протяжении проектируемого срока службы. Эти значения следует принимать по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2).

7.4.1.1.1 Для конструкций или элементов, соответствующих условиям 7.4.2.1 и эксплуатирующихся в условиях класса эксплуатации 1, 2 или 3, окончательную деформацию u_{fin} , следует определить из выражения

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{inst}} + u_{\text{creep}} = u_{\text{inst}}(1 + k_{\text{def}}) \quad (7.13)$$

7.4.1.1.2 Если воздействие не является постоянным, то для определения эффекта ползучести его необходимо преобразовать в эквивалентное постоянное воздействие, путем применения практически-постоянного значения сочетания, установленного в 6.9.3 (Формула 6.22) настоящего пособия. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 для получения мгновенной деформации используются характеристические сочетания воздействий, а для получения деформации ползучести – практически-постоянное сочетание. В СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011(3.4(2)P) приведено различие между обратимыми и необратимыми предельными состояниями эксплуатационной пригодности (SLS). Если обратимое состояние SLS является приемлемым для заказчика, то для определения деформации следует использовать частое сочетание, приведенное в Формуле (6.21) настоящего пособия, а не характеристическое сочетание.

7.4.1.1.3 Основываясь на предположении о применении необратимых условий предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS), окончательную деформацию под воздействием постоянной и переменной нагрузки следует определять из выражения

– при постоянных воздействиях G на элемент или соединение

$$u_{\text{fin},G} = u_{\text{inst},G} + u_{\text{creep},G} = u_{\text{inst},G} (1 + k_{\text{def}}) \quad (7.14)$$

– при доминирующем переменном воздействии Q_1 на элемент или соединение

$$u_{\text{fin},Q,1} = u_{\text{inst},Q,1} + u_{\text{creep},Q,1} = u_{\text{inst},Q,1}(1 + \psi_2 k_{\text{def}}) \quad (7.15)$$

– для сопутствующего(их) переменного(ых) воздействия(ий) Q_i на элемент i или соединение i

$$u_{\text{fin},Q,i} = u_{\text{inst},Q,i} + u_{\text{creep},Q,i} = u_{\text{inst},Q,i}(\psi_{Q,i} + \psi_{2,i} k_{\text{def}}) \quad (7.16)$$

– окончательным условием для n переменных воздействий будет

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q,1}} + \sum_{i=2}^n u_{\text{fin,Q,i}} \quad (7.17)$$

Примечание – При наличии только одного переменного воздействия Формула (7.16) не применяется.

7.4.1.2 Для конструкций, содержащих элементы и соединения, обладающие различной ползучестью. В данных условиях требования 7.4.2.1 неприемлемы.

В этом случае мгновенную деформацию вычисляют согласно 7.4.2.1, а деформацию ползучести определяют с применением только кратковременной нагрузки (т.е. практически-постоянное сочетание нагрузки не применяют) и свойств уменьшенной жесткости элементов конструкции, которые приводятся ниже.

7.4.1.2.1 При соблюдении условий 7.4.2.2 окончательную деформацию u_{fin} конструкций или элементов получают следующим образом

$$u_{\text{fin}} = u_{(\text{inst}+\text{creep})}, \quad (7.18)$$

где $u_{(\text{inst}+\text{creep})}$ – деформация, полученная из линейно-упругого расчета конструкции, подверженной воздействию кратковременной нагрузки, на основании свойств уменьшенной жесткости.

7.4.1.3 Для деревянных конструкций, содержащих элементы и соединения, обладающие одинаковой ползучестью, а также деревянных конструкций, содержащих элементы и соединения, обладающие различной ползучестью при использовании и монтаже с влажностью древесины близкой или равной 20 %, и возможным ее высыханием под нагрузкой, значение k_{def} принимается по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2).

7.4.1.4 Если соединение состоит из деревянных элементов с одинаковой ползучестью, то в качестве значения k_{def} , используемого в расчетах, следует принимать значение, приведенное в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2), умноженное на два. В случае, когда соединение состоит из двух деревянных элементов с различной ползучестью $k_{\text{def,1}}$ и $k_{\text{def,2}}$, значение k_{def} следует определять по формуле

$$k_{\text{def}} = 2\sqrt{k_{\text{def,1}} k_{\text{def,2}}} \quad (7.19)$$

7.5 Учет эффектов размера и распределения напряжений в элементах конструкций

7.5.1 При проектировании деревянных конструкций в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (3.2, 3.3, 3.4 и 6.4.3) следует учитывать такие факторы как размеры элементов, их длина и объем.

7.5.1.1 При изгибе и растяжении элементов из цельной древесины хвойных пород, многослойной клееной древесины и бруса на основе клееного шпона, а также в

двускатных, изогнутых и криволинейных балках, эффекты распределения напряжений и объема следует учитывать путем введения коэффициентов k_h и k_l . Это не относится к плитам из фанеры, ориентированно-стружечной плиты, древесноволокнистой плиты и подобным им материалам.

7.5.1.2 Для учета данного эффекта характеристические значения свойств прочности получают с помощью исходных размеров (которые, для учета эффектов высоты, ширины и длины представлены размерами, за пределами которых эффект можно не учитывать), а характеристическую прочность, используемую при проектировании, получают путем умножения характеристической прочности, приведенной в соответствующем стандарте, на коэффициент k_h . Характеристическую прочность при изгибе и растяжении, приведенную в EN 338, определяют на образцах с исходной высотой $h = 150$ мм - для пиломатериалов, $h = 600$ мм - для многослойной клееной древесины (EN 1194), $h = 300$ мм - для бруса на основе клееного шпона при изгибе, и на прочность при растяжении с исходной длиной $l = 3000$ мм (СТ РК EN 14374).

7.5.1.3 Для элементов конструкций размеры которых превышают исходный размер, значение коэффициента k_h , согласно требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, следует принимать равным 1. Если размеры меньше исходного значения (7.5.1.2), то значения коэффициента k_h при изгибе элементов из пиломатериалов, многослойной клееной древесины и бруса на основе клееного шпона не должны быть больше, соответственно, 1,3; 1,1 и 1,2, а при растяжении бруса на основе клееного шпона вдоль волокон значение $k_l = 1,1$.

При использовании цельной древесины коэффициент k_h применяют при изгибе относительно двух осей, а при использовании многослойной клееной древесины с горизонтальными слоями — только к высоте балки, где сечение нагружено перпендикулярно плоскости широких слоев. Для бруса на основе клееного шпона k_h применяют только в том случае, если элемент подвержен изгибу в плоскости большей жесткости.

7.5.1.4 Значения коэффициентов, применяемых в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (3.2, 3.3, 3.4 и 6.4.3), по оценке влияния размеров для цельной и многослойной клееной древесины, бруса на основе клееного шпона (LVL), объема, а также распределения напряжений в верхней части скатных, изогнутых и криволинейных дощатоклееных элементов конструкций на прочностные свойства древесины, приведены в Таблице 6 настоящего пособия.

7.6 Несущая способность системы

7.6.1 В соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 6.6) если несколько равноудаленных одинаковых элементов конструкций или сборных элементов с одной стороны соединены протяженной распределенной системой связей, то прочностные свойства элемента могут быть увеличены путем умножения на коэффициент прочности системы k_{sys} . Такая система обеспечивает распределение нагрузки между элементами.

7.6.1.1 Коэффициент k_{sys} используется только в том случае, если система может осуществлять перераспределение нагрузки.

7.6.1.2 Система непрерывного распределения нагрузки должна обладать способностью передачи нагрузок в системе от одного элемента к смежным элементам, тогда k_{sys} принимают равным 1,1. Его следует применять, если система распределения нагрузки отвечает следующим требованиям:

- несущие элементы перекрытия соединены с балками перекрытий, перекрытия непрерывны на расстоянии не менее двух шагов, а все соединения перекрытия расположены в шахматном порядке;

- каркасные стены соединены с помощью обшивки, прикрепленной к стойкам в соответствии с рекомендациями производителя или требованиями проекта. Максимальное расстояние между стойками должно составлять 610 мм;

- обрешетка, прогоны или конструкционные панели закреплены к стропильным фермам, а элементы распределения нагрузки являются непрерывными на протяжении менее двух шагов, что объединяет не менее четырех ферм, с расположением соединений в шахматном порядке. Расстояние между фермами не должно превышать 1,2 м.

7.6.1.3 В случае требования о необходимости проверки того, что система распределения нагрузки является достаточно устойчивой для осуществления передачи усилий между элементами, нагрузку принимают как кратковременную.

При использовании в конструкции перекрытия деревянных клееных балок значение k_{sys} будет зависеть от количества используемых деревянных клееных элементов и от способа крепления перекрытия – гвоздями, болтами или приклеиванием. Значения коэффициента прочности системы перекрытия, изготовленного из цельной или многослойной клееной древесины, приведены в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Рисунок 6.12).

Таблица 6 - Значения k_h , k_l , k_{vol} и k_{dis} *

Материал	Коэффициент	Определения/условия	Характеристическое или расчетное значение
Цельная древесина	При изгибе и растяжении: $k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2} \text{ или } 1.3 \right\}$	Собственная плотность <700 кг/м ³ (1) Изгиб: исходная высота $h = 150$ мм. (2) Растяжение: исходная ширина (максимальный размер поперечного сечения) $h = 150$ мм.	(1) Прочность при изгибе: $= k_h f_{m,k}$ (2) Прочность при растяжении, вдоль волокон: $= k_h f_{t,0,k}$
Многослойная клееная древесина	При изгибе и растяжении, и распределении напряжений: $k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1} \text{ или } 1.1 \right\}$ В коньковой зоне двускатной, гнуто-клееной балки, все слои которой параллельны оси балки: $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2}$ В коньковой зоне двускатной и гнуто-клееной балки: $k_{dis} = 1.4$ В коньковой зоне гнуто-клееной балки: $k_{dis} = 1.7$	Для оценки k_h (1) Изгиб: исходная глубина $h = 600$ мм. (2) Растяжение: исходная ширина (максимальный размер поперечного сечения) $h = 600$ мм. Для оценки коэффициента объема k_{vol} (3) Растяжение: исходный объем $V_0 = 0.01$ м ³ . Объемом верхней части под напряжением (в м ³), как установлено в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Рисунок 6.9 (Примечание: значение V не должно превышать $2V_b/3$, где V_b – объем балки).	(1) Прочность при изгибе: $= k_h f_{m,k}$ (2) Прочность при растяжении, вдоль волокон: $= k_h f_{t,0,k}$ (3) Прочность при растяжении, поперек волокон: $= k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$
Брус на основе клееного шпона (LVL)	При изгибе в плоскости h ; растяжение и распределение напряжения: $k_h = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^s \text{ или } 1.2 \right\}$ Для длины: $k_l = \min \{ (3000/l)^{s/2} \text{ или } 1.1 \}$ В коньковой зоне двускатной, гнуто-клееной балки, все слои которой параллельны оси балки: $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2}$ В коньковой зоне двускатной, гнуто-клееной значения k_{dis} аналогичны значениям для гнуто-клееной с прямолинейными скатами балок	Для оценки k_h (1) Экспоненту s влияния размера получают из СТ РК EN 14374: $s = 2(c_v) - 0.25$, где c_v – коэффициент вариации результатов испытания. (2) Изгиб: исходная высота $h = 300$ мм. Для оценки k_l (1) Растяжение: исходная длина $l = 3000$ мм, и s соответствует значению, установленному для k_h . Для оценки k_{vol} (1) Растяжение: исходный объем $V_0 = 0.01$ м ³ . Объемом напряженной коньковой зоны (в м ³), как установлено в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Рисунок 6.9, является V (Примечание: значение V не должно превышать $2V_b/3$, где V_b – объем балки).	(1) Прочность при изгибе: $= k_h f_{m,k}$ (1) Прочность при растяжении вдоль волокна: $= k_l f_{t,0,k}$ (1) Прочность при растяжении, поперек волокон: $= k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$

РАЗДЕЛ II РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Раздел II расчет и конструирование деревянных конструкций распространяется на проектирование деревянных конструкций в соответствии с положениями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. В пособии приводится разъяснение положений СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 по материалам, используемым при изготовлении деревянных конструкций, даны характеристические значения свойств цельной и клееной древесины, LVL-бруса, фанеры, плит ОСП (OSB), ДВП, ДСП и ЦСП. Приведены кратко методы испытаний по определению механических свойств цельной и клееной древесины, а также дано обоснование по вычислению характеристических и расчетных значений древесины и материалов на ее основе. Подробно рассмотрены положения по расчету элементов деревянных конструкций и их соединений по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности. Приведены практические примеры расчета деревянных конструкций и их соединений. В пособии детально описаны требования по конструированию, изготовлению, сборке, монтажу и контролю качества деревянных конструкций и их соединений.

Настоящее пособие является дополнением к части 1 пособия «Общие положения по проектированию деревянных конструкций в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011» и содержит условия и требования по расчету и конструированию деревянных конструкций.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем разделе применяются нормативные ссылки согласно разделу I настоящего пособия.

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем разделе применяются термины и определения согласно разделу I настоящего пособия.

4 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем разделе применяются обозначения и сокращения согласно разделу I настоящего пособия.

5 МАТЕРИАЛЫ

5.1 Цельная и клееная древесина

5.1.1 В несущих и ограждающих деревянных конструкциях применяются: круглый лес, используемый в целом виде; пиломатериалы и клееные заготовки из них; многослойные клееные заготовки из фрезерованных пиломатериалов; листовая многослойная фанера; древесные плиты; водостойкие клеи; влагозащитные лаки и составы; антисептики и антипирены; стальной прокат, арматура и др.

5.1.2 По плотности древесины лесоматериалы подразделяется на лесоматериалы твердых и мягких пород. Для изготовления деревянных конструкций могут использоваться как мягкие, так и твердые породы древесины. К мягким породам относятся: ель, сосна, кедр, тополь, осина, а к твердым – лиственница, береза, дуб, ясень.

5.1.3 Круглые лесоматериалы следует использовать преимущественно для конструкций, изготавливаемых в построечных и полевых условиях (например, сельскохозяйственные здания с балочно-стоечным каркасом, опоры ЛЭП и др.).

5.1.4 Пиломатериалы являются основными конструкционными лесоматериалами для изготовления конструкций из цельной и клееной древесины.

Все пиломатериалы, в соответствии с требованиями EN 338, в зависимости от значений прочностных и упругих характеристик древесины подразделяются на классы прочности (Таблица 1). В EN 338 установлено 18 классов прочности: 12 – для мягких пород древесины – C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50; шесть для твердых пород древесины – D30, D40, D50, D60 и D70. Литеры C и D относятся как к хвойным, так и лиственным породам древесины, а число указывает на характеристическую прочность при изгибе, Н/мм².

5.1.5 Размеры поперечного сечения элементов рекомендуется назначать в соответствии с сортаментом пиломатериалов по EN 336 и национальным приложением. Требования к допускам пиломатериалов должны приниматься в соответствии с EN 336. Данный стандарт устанавливает два класса допуска для пиломатериалов влажностью 20 %: класс 1 (T1) – для неостроганных поверхностей пиломатериалов и класс 2 (T2) – для остроганных пиломатериалов. Отнесение пиломатериалов к классу T1 осуществляется на основании допусков по толщине, а остроганных пиломатериалов - к классу T2 – на основании допусков по ширине. Так, для отнесения пиломатериалов толщиной 100 мм и менее к классу T1 допуск толщины должен находиться в следующих пределах: минимальное отклонение в меньшую сторону – 1 мм, а в большую – 3 мм. При толщине пиломатериалов более 100 мм эти величины должны соответственно составлять – -2/+4 мм. Для остроганных пиломатериалов, относимых к классу допуска T2, с шириной 100 мм и менее ± 1 мм, а при ширине более 100 мм $\pm 1,5$ мм.

Что же касается длины пиломатериалов, допусков при механической обработке с двух или четырех сторон в зависимости от ширины пиломатериала, то они могут быть установлены на национальном уровне в виде приложений к стандарту EN 336.

5.1.6 Для изготовления деревянных конструкций и их элементов все пиломатериалы должны быть отсортированы по прочности в соответствии с требованиями стандартов СТ РК EN 14081-1, EN 14081-2 и EN 14081-3, а по допустимым отклонениям размеров – соответствовать требованиям стандарта EN 336. Сортировку пиломатериалов должен осуществлять изготовитель пиломатериалов. Сортность пиломатериалов устанавливается в зависимости от наличия пороков, дефектов их количества и размеров, и она может определяться как визуально, так и с использованием сортировочных машин.

5.1.7 Пиломатериал, отсортированный визуально или машинным способом, должен иметь характеристические значения прочности при изгибе, растяжении, сжатии и сдвиге, а также значения модуля упругости и плотности, которые определяются методами, указанными в СТ РК EN 14081-1.

5.1.8 При сортировке перед обработкой, класс сортировки считается неизменным, если глубина обработки не превышает 5 мм при размерах 100 мм и менее или 10 мм при размерах более 100 мм. Если глубина обработки пиломатериала больше, то сортировку пиломатериала следует произвести повторно.

5.1.9 Пиломатериал визуально сортируется в соответствии с требованиями СТ РК EN 14081-1 (Приложение А). Если класс сортировки и породу древесины относят к классу прочности по EN 1912, то характеристические значения отдельных свойств следует принимать как для соответствующего класса прочности по EN 338, в противном случае, характеристические значения определяются по EN 384.

5.1.10 Если пиломатериал по машинной сортировке относится к классу прочности по EN 338, то характеристические значения отдельных свойств следует принимать как для соответствующего класса прочности по EN 338, в противном случае, характеристические значения определяются по EN 384. Для сортировочных машин системы машинного контроля следует применять настройки, определенные в EN 14081-2 (Раздел 6), и приведенные в EN 14081-4. Для сортировочных машин системы выходного контроля производителя следует применять настройки, которые определены в EN 14081-2 (Раздел 7).

Таблица 1 – Классы прочности. Характеристические значения по EN 338

		Тополь и древесина хвойных пород												Древесина лиственных пород					
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Показатели прочности, Н/мм²																			
Изгиб	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Растяжение волокон вдоль	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
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	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
Сжатие вдоль волокон	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
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	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
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	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Показатели жесткости, кН/мм²																			
Среднее значение модуля упругости вдоль волокон	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
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	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
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	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
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	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Плотность, кг/м³																			
Плотность	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Среднее значение плотности	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080
Примечание – 1 Указанные выше значения прочности при растяжении, сжатии и сдвиге, 5%-ный квантиль модуля упругости, среднее значение модуля упругости поперек волокон и среднее значение модуля сдвига рассчитаны с применением формул, указанных в EN 338 (Приложение А).																			
Примечание – 2 Табличные значения распространяются на древесину с влажностью при температуре 20°C и относительной влажности воздуха 65%.																			

5.1.11 Пиломатериалы, поставляемые для изготовления многослойных клееных элементов, должны быть отсортированы по классам прочности и иметь СЕ-маркировку. Для изготовления деревянных клееных многослойных элементов использование неотсортированных по классам прочности пиломатериалов не допускается. Деревянные клееные элементы должны изготавливаться в соответствии с требованиями стандарта EN 14080.

5.1.12 В соответствии с требованиями EN 14080 древесина клееная многослойная должна удовлетворять показателям прочности и жесткости пиломатериалов, прочности зубчато-шиповых соединений, устойчивости к биологическому повреждению, прочности клеевых соединений пиломатериалов и швов, огнестойкости и выделению формальдегида.

5.1.13 Для многослойных клееных заготовок из древесины сосны и ели наиболее целесообразно применять пиломатериалы толщиной 40 и 25 мм. Тонкие пиломатериалы следует использовать для изготовления гнутоклееных элементов с ограниченным радиусом кривизны и растянутых элементов. Допуски по отклонению размеров для клееной древесины должны удовлетворять требованиям EN 390:2000. Согласно требованиям стандарта EN 390:2000 отклонения размеров от номинальных, должны составлять не более:

- по ширине поперечного сечения в минимальную сторону – минус 2 мм, а в максимальную – плюс 2мм;

- по высоте поперечного сечения для элементов с высотой 400 мм и менее – в минимальную сторону – минус 2 мм, а в максимальную – плюс 4мм;

- при высоте поперечного сечения элемента более 400 мм – соответственно минус 0,5 % и плюс 1 % от высоты;

- по длине прямолинейного отрезка для элементов при их длине 2 м и менее – в максимальную сторону – плюс 2 мм и в минимальную – минус 2 мм. Для элементов с прямолинейным участком от 2 м до 20 м, соответственно – минус 0,1% и плюс 0,1 % от длины, а для элементов с прямолинейным участком более 20 м – ± 20 мм.

При измерении размеров клееного элемента необходимо учитывать фактическую влажность клееной древесины и производить корректировку в соответствии с данными EN 390:2000 (Таблица 1). Рекомендуемый сортамент пиломатериалов приведен в Таблице 2.

Таблица 2 – Рекомендуемый сортамент пиломатериалов по EN 390:2000

Толщина (высота), мм	Ширина, мм				Толщина (высота), мм	Ширина, мм			
	100	125	150	175		100,	125	150	175
19	100	125	150	-	100	-	125	150	175
25	100	125	150	175	150	-	125	150	175
40	100	125	150	-	175	-	125	-	175
50	100	125	150	175					
ПРИМЕЧАНИЕ1 Размеры фрезерованных пиломатериалов устанавливаются с учетом допусков по толщине и ширине, согласно действующим стандартам.									
ПРИМЕЧАНИЕ2 Для изготовления деревянных клееных элементов может быть использован другой сортамент пиломатериалов.									

5.1.14 Однослойные заготовки из склеенных на зубчатый шип маломерных

пиломатериалов, предназначенные для использования в несущих элементах деревянных конструкций, должны удовлетворять требованиям EN 14080.

5.1.15 Допускается формирование многослойных клееных пакетов из пиломатериалов разных классов прочности. В этом случае наружные слои поперечного сечения пакета формируются из пиломатериалов более высокого класса прочности, чем внутренние. Такая многослойная клееная древесина называется комбинированной. В случае, когда все слои многослойной клееной древесины сформированы из пиломатериалов одного класса прочности, древесина называется однородной. Формирование пакетов многослойной клееной древесины должно выполняться в соответствии с требованиями EN 1194 и EN 14080.

5.1.16 В EN 1194 для древесины клееной многослойной установлено восемь классов прочности: четыре для однородной клееной древесины – GL24h, GL28h, GL32h и GL36h; и четыре для комбинированной клееной древесины – GL24c, GL28c, GL32c и GL36c. Число указывает на характеристическую прочность при изгибе в Н/мм² (Таблицы 3 и 4).

5.1.17 Слои склеенных пиломатериалов должны обладать такими механическими свойствами (определенными в соответствии с EN 384 и EN 408), чтобы полученные механические свойства клееной древесины были равными или выше значений приведенных в Таблицах 3 и 4. Примеры наклеиваний деревянных клееных элементов из пиломатериалов приведены в Таблицах 5 и 6.

Таблица 3– Характеристические значения прочности, жесткости (Н/мм²) и плотности (кг/м³) для однородной клееной многослойной древесины по EN 1194

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

Таблица 4 – Характеристические значения прочности, жесткости (Н/мм²) и плотности (кг/м³) для комбинированной клееной многослойной древесины по EN 1194

Класс прочности комбинированной клееной многослойной древесины		GL24c	GL28c	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

Таблица 5 – Примеры насаиваний деревянных клееных элементов из пиломатериалов. Требуемые характеристики слоев при определении классов прочности многослойной древесины расчетным методом в соответствии с EN 1194.

Классы прочности многослойной клееной древесины	GL 24	GL 28	GL 32	GL 36
Древесина однородная клееная:				
Прочность при растяжении, Н/мм ²	14,5	18	22	26
Модуль упругости при растяжении, Н/мм ²	11 000	12 000	13 000	14 000
Плотность, кг/м ³ *	350	370	390	410
Древесина комбинированная клееная: **				
Прочность при растяжении, Н/мм ²	14,5/11	18/14,5	22/18	26/22
Модуль упругости при растяжении, Н/мм ²	11 000/9 000	12 000/11 000	13 000/12 000	14 000/13 000
Плотность, кг/м ³ *	350/320	370/350	390/370	410/390
<p>* Значения плотности являются индикативными свойствами. ** Требуемые характеристики для комбинированной многослойной клееной древесины приведены для внешних/внутренних слоев.</p>				

Таблица 6 – Примеры формирования элементов из многослойной клееной древесины, соответствующих таблицам 3 и 4. Классы прочности слоев в соответствии с EN 338

Классы прочности многослойной клееной древесины	GL 24	GL 28	GL 32
Древесина однородная клееная	C24	C30	C40
Древесина комбинированная клееная: внешние/внутренние слои	C24/C18	C30/C24	C40/C30

5.1.18 Характеристические значения показателей прочности при изгибе, растяжении и сжатии вдоль волокон, и сдвиге, а также для модуля упругости для клееной многослойной древесины допускается проверять, в соответствии с EN 14080, одним из следующих методов:

- испытаниями;
- расчетами, на основе значений свойств прочности и жесткости;
- классификацией по показателям свойств слоев.

Все эти методы приведены в Разделе 6 настоящего пособия.

5.1.19 Допустимое количество и место расположения стыков на зубчатый шип по длине несущих элементов из клееных заготовок зависит от характера их работы, степени ответственности, особенностей конструктивного решения и должно регламентироваться рабочей документацией на изготовление с соответствующим обоснованием.

Не допускается использование склеенных на зубчатый шип заготовок из короткомерных пиломатериалов для дощатых балок междуэтажных перекрытий и в растянутых поясах дощатых стропильных ферм.

5.1.20 Естественную устойчивость древесины, используемой для изготовления древесины клееной слоистой, к биологическому повреждению определяют в соответствии с требованиями EN 350-1 и EN 350-2.

Мероприятия по защитной обработке от биологического повреждения назначают в соответствии с требованиями EN 15228.

5.1.21 Прочность зубчатых шиповых соединений должна определяться как прочность соединений при изгибе.

Характеристическое значение прочности зубчато-шиповых соединений при изгибе следует определять в соответствии с EN 14080 (Приложение А).

5.1.22 Для клеевых соединений досок должны применяться следующие клеевые составы:

- поликонденсационный клей на основе феноло- и аминопластов, как установлено в EN 301;
- полиуретановый клей, испытанный в соответствии с требованиями, установленными в EN 14080 (Приложение С).

Клеевой состав типа I, согласно EN 301, допускается применять для несущих элементов конструкций всех классов эксплуатации. Клеевой состав типа II, согласно EN 301, допускается применять только для классов эксплуатации 1 и 2 при условии, что температура окружающего воздуха ниже 50 °С.

Прочность клеевой прослойки следует определять на основе испытаний на изгиб в позиции «плашмя» или растяжение согласно EN 408. Определение характеристической прочности при изгибе выполняют в соответствии с EN 14080 (Приложение А).

Прочность клеевых швов должна быть определена посредством одного из методов испытаний, установленных в EN 386:2002. Критерии соответствия, установленные в EN 386:2002, должны быть выполнены.

5.1.23 При необходимости огнестойкость и классификация древесины клееной слоистой может быть определена на основании испытаний по конкретным стандартам, указанным в EN 13501-1, или классифицироваться без последующих испытаний (KBDB)

в случае удовлетворения требованиям, приведенным в EN 14080 (Приложении Е).

5.1.24 По выделениям формальдегида древесину клееную слоистую, изготовленную с применением содержащего формальдегид клея допускается относить к классу Е1 или Е2 в соответствии с требованиями EN 14080 (Приложение В). При этом, классификация древесины выполняется в соответствии с EN 717-1 и EN 14080 (Приложение В).

5.2 Фанера листовая и фанерные плиты

5.2.1 Фанера представляет собой плоскую панель, полученную путем склеивания под давлением нескольких тонких слоев шпона толщиной 2 – 4 мм. Слои шпона располагаются перпендикулярно друг другу и склеиваются под давлением в нечетное число ламелей (не менее трех). Фанера может быть трехслойной и многослойной, а по способу обработки наружных рубашек – шлифованная, нешлифованная, ламинированная и окрашенная. Структура фанерных листов приведена на Рисунке 1.

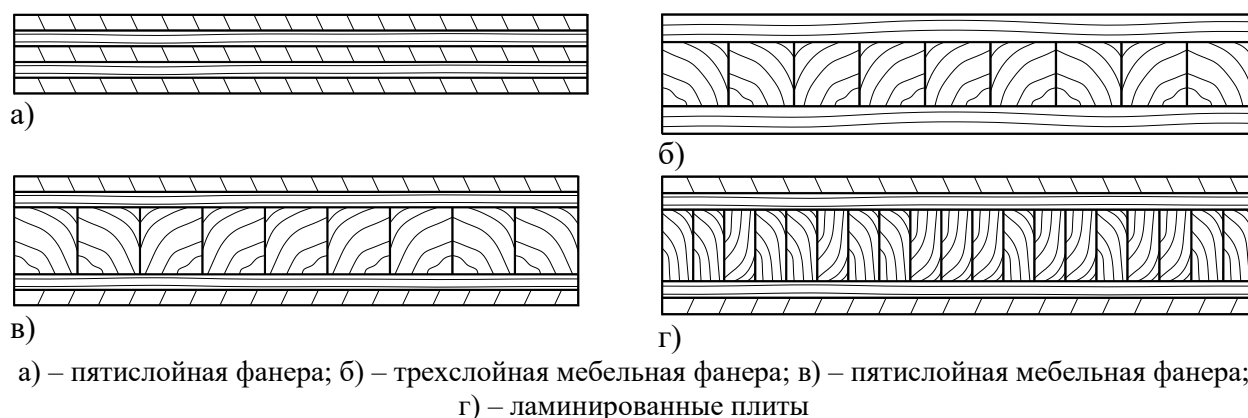


Рисунок 1 – Структура фанеры

В зарубежном производстве используются фанерные плиты, где внешние слои изготавливаются из фанеры, а внутренние – из пиломатериалов (Рисунок 2). Внешние слои называют лицом, а внутренние – ядром.

Фанера изготавливается из шпона хвойных и лиственных пород или их комбинаций. В строительных конструкциях следует использовать сорта конструкционной фанеры. Размеры листов фанеры могут быть 1200 мм × 2400 мм или 1220 мм × 2440 мм. В некоторых странах эти размеры могут быть иными (см. Таблица 7). Наружный шпон, как правило, ориентирован по длинной стороне листа, за исключением финской фанеры, в которой наружный шпон ориентирован параллельно короткой стороне листа.

5.2.2 Конструкционная фанера и фанера для использования снаружи зданий, как правило, изготавливается с использованием водонепроницаемых клеев, которые применимы для жестких условий экспозиции. Конструкционные свойства и прочность фанеры зависят в основном от количества и толщины каждого слоя, вида, сорта и расположения отдельных слоев. Свойства как древесины, так и фанеры зависят от вида напряженного состояния, направления относительно волокон наружных рубашек и продолжительности действия нагрузки.

Таблица 7 – Размеры листовой фанеры, выпускаемой в странах СНГ в соответствии со СНиП II-25-80

Марки листовой фанеры	Размеры листов, мм		Марка листовой фанеры	Размеры листов, мм	
	толщина	длина, ширина		толщина	длина, ширина
ФСФ (березовая)	6, 8, 9,	1525 × 1525	ФБС	7, 10, 12,	5600 × 1200
	10, 12	1525 × 1220		14, 16	4850 × 1200
		1220 × 1220			4400 × 1500
Примечание – В настоящее время отсутствуют данные о характеристических значениях свойств фанеры, производимой по ГОСТ 3916.1 и ГОСТ 3916.2.					

5.2.3 Для фанеры с однонаправленной структурой характерна значительная прочность, но сохраняется высокая степень анизотропии, а с перекрестной структурой – заметно снижается анизотропия и прочность в двух главных направлениях. Для многослойной листовой фанеры показатели прочности и упругости отличаются по главным осям анизотропии при растяжении, сжатии, изгибе только в 1,5 - 3 раза, а не в 10 - 40 раз, как для древесины в ее натуральном виде.

В ограждающих и несущих конструкциях допускается применение фанеры только на водостойких клеях толщиной не менее 6 мм.

5.2.4 При применении фанеры в качестве конструкционного материала необходимо учитывать условия эксплуатации, руководствуясь требованиями EN 636 -1, EN 636 -2 и EN 636 -3.

5.2.4.1 Согласно EN 636 -1 при использовании фанеры в сухих условиях, т.е. внутри помещений без риска увлажнения, как определено в классе эксплуатации 1 стандарта EN 335-3, равновесная влажность фанеры характеризуется содержанием влаги в материале, соответствующей температуре воздуха 20°C и относительной влажности воздуха 65 %. Качество связующего должно удовлетворять требованию клеевого состава класса 1 по стандарту EN 314-2, а биологическая стойкость должна соответствовать преобладающим климатическим условиям в месте эксплуатации. Стойкость к поражению микроорганизмами для класса 1 по риску биологического поражения принимается в соответствии с EN 335-3. Характеристические значения механических свойств фанеры должны соответствовать требованиям стандарта EN 12369.

5.2.4.2 Согласно EN 636-2 при использовании фанеры в защищенных внешних условиях, (например, внутренние обшивки стен или под кровельными покрытиями, неблагоприятные погодные условия в течение короткого периода времени в процессе строительства), а также когда температурно-влажностные условия эксплуатации превышают уровень класса эксплуатации 1, как определено в EN 335-3, равновесная влажность фанеры характеризуется содержанием влаги в материале, соответствующей температуре воздуха 20°C и относительной влажности воздуха, исключительно, в случаях превышения 85 % в течение нескольких недель в году. В этом случае качество связующего должно удовлетворять требованию клеевого соединения класса 2 по EN 314-2. Стойкость фанеры к поражению микроорганизмами для класса 2 по риску биологического поражения должна соответствовать стандарту EN 335-3.

Характеристические значения механических свойств фанеры должны соответствовать требованиям стандарта EN 12369.

5.2.4.3 Согласно EN 636 -3 при использовании фанеры в незащищенных внешних условиях (эксплуатация под дождем и солнцем в течение длительного периода времени), как определено в классе 3 согласно EN 335-3, она должна быть способна к противостоянию неблагоприятных погодных условий, воде или пару, в сыром, но вентилируемом месте, где содержание влажности материала часто превышает 20 %. В этом случае качество связующего должно удовлетворять требованию клеевого соединения класса 3 по EN 314-2. Стойкость фанеры к поражению микроорганизмами для класса 3 по риску биологического поражения должна соответствовать стандарту EN 335-3. Характеристические значения механических свойств фанеры должны соответствовать требованиям стандарта EN 12369.

5.2.5 Класс клеевого соединения для фанеры должен приниматься с учетом условий эксплуатации на основании требований стандарта EN 314-2. Согласно требованиям EN 314-2 для клеевых соединений установлены следующие классы клеевого соединения:

- класс 1 – эксплуатация внутри помещений в сухих условиях;
- класс 2 – эксплуатация во влажных, но вентилируемых условиях;
- класс 3 – эксплуатация снаружи помещений, т.е. под дождем и солнцем в течение длительного периода времени.

5.2.6 Европейские технические требования для фанеры не подразделяют ее на классы прочности, как это для пиломатериалов и клееной древесины. Поэтому для фанеры невозможно представить в общей форме характеристические значения. Они должны быть определены изготовителем, в соответствии с требованиями стандарта EN 12369-2, а также заявлены в виде следующей информации:

- описание продукции;
- стандарт, по которому изделие изготовлено (EN 636);
- характеристические значения, установленные в соответствии с EN 1058 или EN 789;
- класс эксплуатации продукции;
- сорт древесины для изготовления шпона, сорт и количество слоев;
- сведения о сертификации;
- EN 12369-2 Плиты древесные. Собственные значения для проектирования конструкций. Часть 2. Фанера.

В стандарте EN 12369-2 даны указания по определению характеристических значений фанеры. Фанера подлежит CE-маркировке, а ее качество контролируется на национальном уровне.

В качестве примера в Таблицах 8, 9 и 10 приведены характеристические значения финской фанеры по данным EN 12369-2, которая может быть использована в Республике Казахстан.

Таблица 8 – Характеристические значения прочности и жесткости финской березовой фанеры по данным EN 12369-2

Свойства			Характеристика прочности, Н / мм ²									Средний модуль сдвига, Н / мм ²			Средний модуль упругости, Н / мм ²			
			Изгиб вдоль волокон наружных слоев		Сжатие в плоскости листа		Растяжение в плоскости листа		Сдвиг вдоль волокон наружных слоев	Сдвиг в плоскости листа		При сдвиге вдоль волокон наружных слоев	Сдвиг в плоскости листа (межслойный)		При изгибе листа		При растяжении и сжатии листа	
Номинальная толщина, мм	Количество слоев	Средняя толщина, мм	$f_{m,0,k}$	$f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,0,k}$	$f_{r,90,k}$	$G_{v,mean}$	$G_{v,0,mean}$	$G_{v,90,mean}$	$E_{m,0,mean}$	$E_{m,90,mean}$	$E_{t/c,0,mean}$	$E_{t/c,90,mean}$
4	3	3,6	65,9	10,6	31,8	20,2	45,8	29,2	9,5	2,77	—	620	169	—	16471	1029	10694	6806
6,5	5	6,4	50,9	29,0	29,3	22,8	42,2	32,8	9,5	3,20	1,78	620	169	123	12737	4763	9844	7656
9	7	9,2	45,6	32,1	28,3	23,7	40,8	34,2	9,5	2,68	2,35	620	206	155	11395	6105	9511	7989
12	9	12,0	42,9	33,2	27,7	24,3	40,0	35,0	9,5	2,78	2,22	620	207	170	10719	6781	9333	8167
15	11	14,8	41,3	33,8	27,4	24,6	39,5	35,5	9,5	2,62	2,39	620	207	178	10316	7184	9223	8277
18	13	17,6	40,2	34,1	27,2	24,8	39,2	35,8	9,5	2,67	2,34	620	206	183	10048	7452	9148	8352
21	15	20,4	39,4	34,3	27,0	25,0	39,0	36,0	9,5	2,59	2,41	620	206	186	9858	7642	9093	8407
24	17	23,2	38,9	34,4	26,9	25,1	38,8	36,2	9,5	2,62	2,39	620	206	189	9717	7783	9052	8448
27	19	26,0	38,4	34,5	26,8	25,2	38,7	36,3	9,5	2,57	2,43	620	205	190	9607	7893	9019	8481
30	21	28,8	38,1	34,6	26,7	25,3	38,5	36,5	9,5	2,59	2,41	620	205	192	9519	7981	8993	8507
35	25	34,4	37,6	34,7	26,6	25,4	38,4	36,6	9,5	2,57	2,43	620	204	193	9389	8111	8953	8547
40	29	40,0	37,2	34,7	26,5	25,5	38,3	36,8	9,5	2,56	2,44	620	204	195	9296	8204	8925	8575
45	32	44,2	37,0	34,7	26,5	25,5	38,2	36,8	9,5	2,55	2,46	620	203	195	9259	8241	8914	8586
50	35	48,4	36,8	34,8	26,4	25,6	38,1	36,9	9,5	2,54	2,46	620	203	196	9198	8302	8895	8605

Таблица 9– Характеристические значения прочности и жесткости финской комбинированной фанеры по данным EN 12369-2

Свойства			Характеристика прочности, Н / мм ²									Средний модуль сдвига, Н / мм ²			Средний модуль упругости, Н / мм ²			
			Изгиб вдоль волокон наружных слоев		Сжатие в плоскости листа		Растяжение в плоскости листа		Сдвиг вдоль волокон наружных слоев	Сдвиг в плоскости листа		При сдвиге вдоль волокон наружных слоев	Сдвиг в плоскости листа (межслойный)		При изгибе листа		При растяжении и сжатии листа	
Номинальная толщина, мм	Количество слоев	Средняя толщина, мм	$f_{m,0,k}$	$f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,0,k}$	$f_{r,90,k}$	$G_{v,mean}$	$G_{v,0,mean}$	$G_{v,90,mean}$	$E_{m,0,mean}$	$E_{m,90,mean}$	$E_{t/c,0,mean}$	$E_{t/c,90,mean}$
6.5	5	6,4	50,8	29,0	24,5	22,8	19,1	32,8	7,0	3,20	1,14	600	169	41	12690	4763	8859	7656
9	7	9,2	43,9	32,1	22,5	23,7	17,5	34,2	7,0	2,68	1,51	593	206	52	10983	6105	8141	7989
12	9	12,0	40,0	33,2	21,5	24,3	16,7	35,0	7,0	2,78	1,42	589	207	57	10012	6781	7758	8167
15	11	14,8	37,5	33,8	20,8	24,6	16,2	35,5	7,0	2,62	1,53	586	207	59	9386	7184	7520	8277
18	13	17,6	35,8	34,1	20,4	24,8	15,8	35,8	7,0	2,67	1,50	584	206	61	8950	7452	7358	8352
21	15	20,4	34,5	34,3	20,0	25,0	15,6	36,0	7,0	2,59	1,55	583	206	62	8628	7642	7240	8407
24	17	23,2	32,9	34,4	19,8	25,1	15,4	36,2	7,0	2,62	1,53	582	206	63	8381	7783	7151	8448
27	19	26,0	31,2	34,5	19,6	25,2	15,3	36,3	7,0	2,57	1,56	581	205	63	8185	7893	7081	8481
30	21	28,8	29,9	34,6	19,5	25,3	15,1	36,5	7,0	2,59	1,54	581	205	64	8026	7981	7024	8507

Таблица 10 – Характеристические значения прочности и жесткости финской комбинированной фанеры по данным EN 12369-2

Свойства			Характеристика прочности, Н / мм ²									Средний модуль сдвига, Н / мм ²			Средний модуль упругости, Н / мм ²			
			Изгиб вдоль волокон наружных слоев		Сжатие в плоскости листа		Растяжение в плоскости листа		Сдвиг вдоль волокон наружных слоев	Сдвиг в плоскости листа		При сдвиге вдоль волокон наружных слоев	Сдвиг в плоскости листа (межслойный)		При изгибе листа		При растяжении и сжатии листа	
Номинальная толщина, мм	Количество слоев	Средняя толщина, мм	$f_{m,0,k}$	$f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,0,k}$	$f_{r,90,k}$	$G_{v,mean}$	$G_{v,0,mean}$	$G_{v,90,mean}$	$E_{m,0,mean}$	$E_{m,90,mean}$	$E_{t/c,0,mean}$	$E_{t/c,90,mean}$
4	3	3,6	37,6	6,0	22,0	14,0	17,1	10,9	7,0	1,77	—	530	56	—	12235	765	7944	5056
6,5	5	6,4	29,1	16,6	20,3	15,8	15,8	12,3	7,0	2,05	1,14	530	66	41	9462	3538	7313	5688
9	7	9,2	26,0	18,3	19,6	16,4	15,2	12,8	7,0	1,72	1,51	530	69	52	8465	4535	7065	5935
12	9	12,0	24,5	19,0	19,2	16,8	14,9	13,1	7,0	1,78	1,42	530	69	57	7963	5037	6933	6067
15	11	14,8	23,6	19,3	19,0	17,0	14,8	13,2	7,0	1,68	1,53	530	69	59	7663	5337	6851	6149
18	13	17,6	23,0	19,5	18,8	17,2	14,6	13,4	7,0	1,71	1,50	530	69	61	7464	5536	6795	6205
21	15	20,4	22,5	19,6	18,7	17,3	14,5	13,5	7,0	1,66	1,55	530	69	62	7323	5677	6755	6245
24	17	23,2	22,2	19,7	18,6	17,4	14,5	13,5	7,0	1,68	1,53	530	69	63	7218	5782	6724	6276
27	19	26,0	22,0	19,7	18,6	14,4	14,4	13,6	7,0	1,65	1,56	530	68	63	7137	5863	6700	6300
30	21	28,8	21,8	19,8	18,5	17,5	14,4	13,6	7,0	1,66	1,54	530	68	64	7072	5928	6681	6319

5.3 ЛВЛ – брус (брус LVL)

5.3.1 ЛВЛ-брус (LVL - Laminated Veneer Lumber) — конструкционный материал (известен также как брус из клееного шпона), изготовленный по технологии склейки нескольких слоев лущеного шпона хвойных пород (сосна, ель, лиственница) толщиной 3-4 мм, причем волокна древесины смежных слоев располагаются параллельно, что отличает ЛВЛ от фанеры. LVL выпускается в виде брусьев (балок) и плит широкого размерного ряда. Этот материал легко обрабатывается в процессе производства и на строительной площадке. В зависимости от страны производителя LVL может отличаться своей маркировкой, значениями прочностных и упругих характеристик. Так, в США, LVL изготавливается из желтой сосны или ели Дугласа и называется Microllam, а в Финляндии – из ели в качестве стандартного изделия под названием Kerto. LVL – Kerto подразделяется на Kerto –Sc одинаковым направлением волокон во всех слоях и Kerto – Q, где в каждом пятом слое шпона направление волокон перпендикулярно к первым четырем.

В Канаде, США, Германии, Японии, Польше, России и других странах выпускается ЛВЛ под названием Ultralam™. Ultralam™ изготавливается в виде брусьев и плит, и представляет собой многослойный клееный материал из шпона хвойных пород различного сорта (G₁ – G₄)

5.3.2 Конструкции из LVL могут применяться в жилищном, общественном, промышленном и других отраслях строительства в качестве самостоятельных несущих конструкций (балки, прогоны, арки и т.п.) или элементов более сложных конструкций (пояса и решетки ферм, пояса комбинированных балок, каркасы панелей, стойки и ригели рам и т.п.).

5.3.3 Стандартные размеры сечений Kerto - LVL приведены в Таблице 11, а характерные значения прочности и жесткости – в Таблице 13.

5.3.4 Ultralam™ делится на несколько типов в зависимости от направления волокон и сортов слоев шпона: Ultralam Rs; Ultralam R; Ultralam X и Ultralam I. Брусья и плиты из Ultralam™ делятся на несколько типов в зависимости от направления волокон и сортов слоев шпона (Таблица 12). Стандартные размеры сечения Ultralam™ - LVL приведены в Таблице 14, а средние значения прочности и жесткости, соответственно, в Таблицах 15 и 16.

5.3.5 Характеристические значения LVL должны определяться в соответствии с требованиями СТ РК EN 14374, а влажность и геометрические размеры – EN 322, EN 324-1 и EN 324 -2.

Таблица 11 – Стандартные размеры сечений Kerto-LVL

Тип Kerto-LVL	Толщина, мм	Ширина или высота, мм								
		200	225	260	300	360	400	450	500	600
S/Q	27	+	+							
S/Q	33	+	+	+						
S/Q	39	+	+	+	+					
S/Q	45	+	+	+	+	+				
S/Q	51	+	+	+	+	+	+			
S/Q	57	+	+	+	+	+	+	+		
S/Q	63	+	+	+	+	+	+	+	+	
S/Q	69	+	+	+	+	+	+	+	+	+
S	75		+	+	+	+	+	+	+	+
S	90	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Примечание – Kerto-LVL может поставляться шириной до 2500 мм.										

Таблица 12 – Тип и область применения Ultralam™

Тип материала	Характеристика	Область применения
Ultralam Rs	Все слои шпона имеют параллельное направление волокон, для изготовления используется шпон сортов G1-G2 (преимущественно сорт G1)	Несущие конструкции
Ultralam R	Все слои шпона имеют параллельное направление волокон, для изготовления используется шпон сортов G1-G2 (преимущественно сорт G2)	Несущие конструкции
Ultralam X	Отдельные слои шпона имеют взаимно перпендикулярное направление волокон, для изготовления используется шпон сортов G2-G3	Несущие и ограждающие конструкции
Ultralam I	Слои шпона могут иметь как параллельное, так и взаимно перпендикулярное направление волокон, для изготовления используется шпон сортов G3-G4	Ограждающие конструкции, в том числе заготовки для дверного и мебельного производства и т.д.

Таблица 13 – Характеристические значения прочности, жесткости и плотности Kerto – LVL

	Изгиб			Растяжение		Сжатие			Скалывание		Мо- дуль упру- гости вдоль воло- кон	Мо- дуль сдвига на ребро	Плот- ность	Среднее значение		
	на ребре	эф- фект разме- ра	пла- шмя	вдоль воло- кон	попе- рек воло- кон	вдоль воло- кон	поперек волокон на ребре	поперек волокон плашмя	на ребре	пла- шмя				модуль упруго- сти	модуль сдвига	плот- ность
Обозна- чение	$f_{m,0,edge,k}$	s	$f_{m,0,flat,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,edge,k}$	$f_{c,90,flat,k}$	$f_{v,0,edge,k}$	$f_{v,0,flat,k}$	$E_{0,k}$	$G_{0,k}$	ρ_k	$E_{0,mean}$	$G_{0,mean}$	$\rho_{k,mtan}$
Единицы	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	Н/мм ²	кг/м ³	Н/мм ²	Н/мм ²	кг/м ³
Kerto- S^k	44,0	0,12	50,0	35,0	0,8	35,0	6,0	1,8	4,1	2,3	11600	400	480	13800	600	510
Kerto- Q^k	32,0	0,12	36,0	26,0	6,0	26,0	9,0	1,8	4,5	1,3	8800	400	480	10500	600	510

Таблица 14 – Стандартные размеры сечений Ultralam™

Толщина, мм	Ширина (высота), мм													
	200	225	260	300	360	450	500	600	700	800	900	1000	1200	1250
19	+	+												+
21	+	+	+											+
27	+	+	+	+										+
30	+	+	+	+										+
33	+	+	+	+	+									+
39	+	+	+	+	+	+								+
45	+	+	+	+	+	+	+							+
51	+	+	+	+	+	+	+	+						+
57	+	+	+	+	+	+	+	+	+					+
63	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+
69	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+
75	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
90	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
106	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Примечания 1 Длина серийно изготавливаемых стандартных элементов от 2500 до 20500 мм. 2 Допускается изготовление элементов с другой градацией по спецификациям потребителей.														

Таблица 15 – Средние значения прочности Ultralam™

Напряженное состояние		Среднее значение прочности, Н/мм ² , для типов Ultralam™			
		Rs	R	X	I
Изгиб	вдоль волокон по кромке	64	54	46	50
	вдоль волокон по пласту	81	66	55	59
Сжатие	вдоль волокон	57	50	41	48
	поперек волокон	9,2	9	18	9
	перпендикулярно плоскости листа шпона	4,1	4	4,3	4
Растяжение	вдоль волокон	49	44	40	40
Скалывание по клеевому шву	вдоль волокон	6,2	6,2	6,2	6,2
	поперек волокон	2,5	2,5	2,5	2,5

Таблица 16 – Упругие характеристики LVL – Ultralam™*

Упругие характеристики		Обозначение	Единицы	Тип		
				R	X, из ели, сосны и их комбинаций	
					толщина от 19 до 21 мм	толщина от 24 до 75 мм
Модуль упругости	параллельно волокнам (среднее значение)	$E_{0,mtan}$	Н/мм ²	14000	10000	12100
	параллельно волокнам (5% квантиль)	$E_{0,0,05}$	Н/мм ²	12000	9200	11000
	поперек волокон (среднее значение)	$E_{90,mtan}$	Н/мм ²		2300	3000
Модуль сдвига	вдоль волокон	$G_{0,mtan}$	Н/мм ²	350	550	550
*Результаты испытаний агентства по испытанию материалов, университет г. Штутгарт.						

5.3.6 Проектирование конструкций из LVL должно осуществляться на основании требований СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и СН РК EN 1995-2:2008/2011.

Классификация конструкций из LVL по температурно-влажностным условиям эксплуатации и мероприятия по защите от биологического поражения должны соответствовать требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Класс клевого соединения для LVL должен приниматься с учетом условий эксплуатации на основании требований стандарта EN 314-2.

5.4 Ориентированно-стружечные плиты OSB (ОСП)

Ориентированно-стружечные плиты OSB (ОСП) принадлежат к категории изделий древесного происхождения и содержат до 90 % древесины. Плиты OSB производятся

методом прессования набором плоской щепы под воздействием высокого давления и температуры с применением водостойкого клея. Отличительной особенностью OSB от других видов древесных плит является наличие сравнительно большой и длинной щепы, ориентированной послойно. OSB изготавливают из крупноразмерной щепы хвойных пород, которая, как правило, имеет следующие параметры:

- длина – 25 – 150 мм;
- ширина – 5 – 50 мм;
- толщина 0,4 – 0,75 мм;
- отношение длины к ширине от 5 до 3.

Длинная тонкая щепа укладывается в три слоя: внешние слои формируются из щепы, направленной параллельно длине готовой плиты, во внутреннем слое щепа укладывается перпендикулярно длине плиты. Разнонаправленность щепы в OSB-плите способствует повышению ее прочности и жесткости.

Толщина выпускаемых OSB-плит может составлять от 8 мм до 25 мм, а ширина и длина, соответственно, 2500 мм и 4800 мм. Такие размеры OSB-плит позволяют использовать их в качестве обшивки стеновых панелей, настила пола и крыши, а также в качестве стенок композитных конструкций (двутавровые балки, стойки) и т.п.

По способу механической обработки лицевой поверхности плиты OSB классифицируются на шлифованные и нешлифованные, а по форме профиля торцов подразделяются на:

- плиты с прямыми краями (для кровельных работ);
- плиты с двусторонне фрезерованными краями гребень-паз (для устройства полов);
- плиты с четырехсторонне фрезерованными краями гребень-паз (для устройства пола).

В соответствии с требованиями EN 300 плиты OSB классифицируются на 4 класса:

- OSB/1 – плиты общего назначения, используемые в мебельном производстве при эксплуатации в сухих условиях;
- OSB/2 – плиты общего назначения, используемые в несущих панелях при температурно-влажностных условиях, соответствующих классу эксплуатации 1, установленному в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011;
- OSB/3 – плиты несущих каркасных панелей для влажной среды при температурно-влажностных условиях, соответствующих классам эксплуатации 1 и 2, установленным в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011;
- OSB/4 – плиты несущих каркасных панелей для тяжелого режима эксплуатации при температурно-влажностных условиях, соответствующих классам эксплуатации 1 и 2, установленным в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Классификация плит OSB приведена в Таблице 17.

Таблица 17 – Классификация плит OSB по стандарту EN 300

Класс плиты OSB	Прочность вдоль главной оси плиты (изгиб), Н/мм ²	Влагостойкость (степень набухания по толщине в сутки)
1	< 20 (слабая)	> 20% (низкая)
2	22 (сильная)	20% (низкая)
3	22 (сильная)	15% (высокая)
4	30 (очень сильная)	12% (очень высокая)

При проектировании и изготовлении деревянных конструкций следует использовать плиты классов OSB/3 и OSB/4. Плиты класса OSB/3 и OSB/4 не являются водостойкими. Термин «водостойкие» применяется к клею, который не теряет своих качеств при воздействии влаги. Для всех классов плит OSB необходимо исключать возможность непосредственного увлажнения. При увлажнении плита OSB заметно увеличивается в своем объеме, что приводит к уменьшению ее прочности и жесткости.

Если плиты OSB изготовлены из щепы ели или осины (допускается), то при длительном увлажнении могут быть поражены грибами. Плиты OSB, изготовленные на основе щепы из сосны, имеют более высокую биологическую стойкость, чем из щепы ели или осины.

Плиты OSB должны выпускаться в соответствии с требованиями EN 300, а по своему назначению в строительстве удовлетворять требованиям EN 13986.

Плиты классов OSB/3 и OSB/4 предназначены для использования при изготовлении таких строительных элементов как стены, полы, покрытия и двутавровые балки.

Минимальные характеристические значения для плит OSB соответствующих EN 300, приведены в Таблице 18.

При использовании плит OSB в качестве конструкционного материала распиловку плит рекомендуется выполнять твердосплавным режущим инструментом. Крепление плит OSB желательно выполнять с использованием специальных шурупов. Перед установкой шурупов в плите OSB должны быть просверлены плотные отверстия диаметром 0,85 – 0,9 диаметра шурупа. Расстояния от кромок и угла плиты должно быть не менее 8 и 25 мм, соответственно. Гвозди и скобы допускается применять для малонагруженных соединений или для закрепления клеевых соединений во время полимеризации клея.

**Таблица 18 – Характеристические значения прочности, жесткости и плотности для плит OSB, соответствующих EN 300
(на основе EN 12369-1)**

Свойства	Характеристика прочности, Н / мм ²								Плотность кг/м ³	Средний модуль сдвига, Н / мм ²		Средний модуль упругости, Н / мм ²					
	изгиб вдоль наружных слоев		сжатие в плоскости листа		растяжение в плоскости листа		сдвиг вдоль наружных слоев	сдвиг в плоскости листа		при сдвиге вдоль наружных слоев	сдвиг в плоскости листа (межслойный)	при изгибе листа		при растяжении листа		при сжатии	
Толщина плиты, мм	$f_{m,0,k}$	$f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k}$	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	18,0	9,0	15,9	12,9	9,9	7,2	6,8	1,0	550	1080	50	4930	1980	3800	3000	3800	3000
>10-18	16,4	8,2	15,4	12,7	9,4	7,0	6,8	1,0	550	1080	50	4930	1980	3800	3000	3800	3000
>18-25	14,8	7,4	14,8	12,4	9,0	6,8	6,8	1,0	550	1080	50	4930	1980	3800	3000	3800	3000
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	550	1090	60	6780	2680	4300	3200	4300	3200
>10-18	23,0	12,2	17,6	14,0	11,4	8,2	6,9	1,1	550	1090	60	6780	2680	4300	3200	4300	3200
>18-25	21,0	11,4	17,0	13,7	10,9	8,8	6,9	1,1	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.																	

5.5 Древесностружечные плиты (ДСП)

Древесностружечные плиты могут быть изготовлены на синтетическом и на цементном вяжущем. Первые обозначаются ДСП, а вторые – ЦСП.

Древесностружечная плита (ДСП) на синтетической смоле – изделие из древесины, как определено в EN 309, изготовленное прессованием мелких древесных фрагментов (например, древесной стружки, опилок) при воздействии высоких температур с применением клеевых составов.

Древесностружечные плиты используют в качестве внутренних обшивок каркасов домов, стеновых панелей, внутренних перегородок, настила для пола и т.п.

По способу отделки плиты ДСП бывают со шлифованными и нешлифованными поверхностями и ламинированные.

Плиты должны соответствовать размерам, указанным в Таблице 19.

Таблица 19 – Размеры плит 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

В соответствии с требованиями EN 312 различают семь технических классов плит (ДСП), которые классифицируются и отличаются следующим:

- P1 – плиты общего назначения для использования в сухих условиях;
- P2 – плиты интерьера, предметов обстановки (включая мебель) для использования в сухих условиях;
- P3 – не несущие плиты для использования во влажной среде;
- P4 – несущие плиты для использования в сухих условиях;
- P5 – тяжелые несущие плиты для использования в сухих условиях;
- P6 – несущие плиты для использования во влажной среде;
- P7 – тяжелые несущие плиты для использования во влажных условиях.

Примечание – При применении ДСП в строительстве следует руководствоваться требованиями, изложенными в EN 312 и EN 13986.

К сухим условия относятся только класс эксплуатации 1, а к влажным классы эксплуатации 1 и 2. ДСП классов P1, P2 и P3 предназначены для общего применения, включая изготовление мебели. Плиты классов P4- P7 предназначены для использования при проектировании и строительстве несущих конструктивных элементов, таких как стены, полы, кровля и двутавровые балки. Для сухих внутренних помещений могут быть использованы плиты класса P4. Влагостойкие плиты класса P5 могут использоваться при

строительстве новых домов и реконструкции старых. Чтобы отличить этот класс плит от других визуально, при их изготовлении добавляется зеленый краситель.

В EN 12369-1 даются лишь минимальные характеристические значения для ДСП в соответствии с EN 312, которые приведены в Таблице 20.

5.6 Цементностружечные плиты (ЦСП)

Цементностружечная плита (ЦСП) - изделие из древесины, как определено в EN 633, изготовленное прессованием мелких фрагментов древесины или иных частиц растительного происхождения с применением в качестве вяжущего гидравлического цемента и возможных добавок.

Размеры плит, указаны в Таблице 21, а показатели свойств в Таблице 22.

Таблица 20 – Минимальные характеристические значения прочности, жесткости и плотности для ДСП классов P4 и P5 соответствии с EN 312 (на основе EN 12369-1)

Свойства	Характеристика прочности, Н / мм ²					Плотность кг/м ³	Средний модуль сдвига, вдоль листа, Н / мм ²	Средний модуль упругости, Н / мм ²		
	изгиб	сжатие вдоль листа	растяжение вдоль листа	сдвиг вдоль листа	сдвиг в плоскости листа			при изгибе	при растяжении	при сжатии
Толщина плиты, мм	$f_{m,0,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{v,k}$	$f_{t,k}$	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 класс 1)										
>6-13	14,2	12,0	8,9	6,6	1,8	650	860	3200	1800	1800
>13-20	12,5	11,1	7,9	6,1	1,6	600	830	2900	1700	1700
>20-25	10,8	9,6	6,9	5,5	1,4	550	770	2700	1600	1600
>25-32	9,2	9,0	6,1	4,8	1,2	550	680	2400	1400	1400
>32-40	7,5	7,6	5,0	4,4	1,1	500	600	2100	1200	1200
>40	5,8	6,1	4,4	4,2	1,0	500	550	1800	1100	1100
ДСП P5 – несущие плиты для использования во влажной среде (классы 1 и 2)										
>6-13	15,0	12,7	9,4	7,0	1,9	650	960	3500	2000	2000
>13-20	13,3	11,8	8,5	6,5	1,7	600	930	3300	1900	1900
>20-25	11,7	10,3	7,4	5,9	1,5	550	860	3000	1800	1800
>25-32	10,0	9,8	6,6	5,2	1,3	550	750	2600	1500	1500
>32-40	8,3	8,5	5,6	4,8	1,2	500	690	2400	1400	1400
>40	7,5	7,8	5,5	4,4	1,0	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.										

Таблица 21 – Размеры плит ЦСП

Параметры	Значения	Предельные отклонения, мм	
Толщина, мм	10; 12; 16; 20; 24; 36; 40	<12	+/- 0,7
		12 -15	+/- 1
		15 - 19	+/- 1,2
		> 19	+/- 1,4>
Длина, мм	2700; 3200	+5	
Ширина, мм	1250	+5	

Плиты ЦСП толщиной 10, 12 и 16 мм применяются в качестве наружной и внутренней обшивки стен (по каркасу-обрешетке), облицовки колонн или ригелей общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий.

Цементно-стружечные плиты толщиной 16, 24 и 36 мм могут использоваться в качестве следующих элементов полов: основания под различные покрытия, подстилающего слоя, выравнивающего слоя, чистового пола с лицевым покрытием.

При строительстве и проектировании необходимо учитывать, что наличие в составе ЦСП древесины приводит к незначительным отклонениям линейных размеров плит при изменении температурно-влажностных условий эксплуатации. Поэтому при обшивке наружных вертикальных конструкций между плитами необходимо предусматривать деформационные швы (зазоры) - 8 мм, а при обшивке внутренних – 4 мм. В горизонтальных конструкциях, например, полах, плиты укладываются без зазора между собой. При этом между плитами ЦСП и стенами необходимо предусмотреть зазор 10 мм по периметру помещения.

Плиты ЦСП используются для наружной и внутренней обшивки стен (например, при изготовлении вентилируемых фасадов, в каркасном строительстве и производстве сэндвич-панелей), в качестве несъемной опалубки, как настил под кровлю и в виде подоконников. При применении плит ЦСП в обязательном порядке следует руководствоваться требованиями, изложенными в стандарте EN 634-2.

В зависимости от характеристических значений свойств и температурно-влажностных условий эксплуатации в соответствии с требованиями EN 634 -2 плиты ЦСП подразделяются на два технических класса: класс 1 и класс 2.

Таблица 22 – Некоторые минимальные значения показателей свойств для плит ЦСП в соответствии с EN 634-2

Свойство		Значение
1	Плотность, кг/м ³	≥ 1000
2	Влажность, %	1,5
3	Разбухание по толщине за 24 ч, %	≤1,5
4	Прочность при изгибе, Н/мм ² , для толщины, мм: 10, 12, 16;	≥ 9
	24;	≥ 9
	36.	≥ 9

Таблица 22(продолжение)

	Свойство	Значение
5	Прочность при растяжении перпендикулярно пласту плиты, Н/мм ²	≥0,5
6	Прочность при растяжении после циклического испытания, Н/мм ²	≥ 0,3
7	Разбухание по толщине после циклического испытания, %	≤ 1,5
8	Модуль упругости, Н/мм ²	≥ 450

5.7 Клен

Для изготовления многослойной клееной древесины должны быть использованы следующие клеевые составы:

- поликонденсационный клей на основе феноло- и аминопластов в соответствии с требованиями установленными в EN 301;
- полиуретановый клей, испытанный в соответствии с требованиями, установленными в EN 14080 (Приложение С).

Клеевой состав типа I, согласно EN 301, допускается применять для несущих элементов конструкций всех классов эксплуатации.

Клеевой состав типа II, согласно EN 301, допускается применять только для классов эксплуатации 1 и 2 при условии, что температура не превышает 50 °С.

5.8 Древесные плиты, выпускаемые по стандартам (ГОСТ) и техническим условиям в странах СНГ

В странах СНГ производятся следующие плитные материалы на основе древесины:

- а) древесноволокнистые плиты сухого способа производства (ДВПс) на фенольных связующих марок Тс-400, Тс-450;
- б) древесно-стружечные плиты на карбамидных (ДСПк) и на фенольных (ДСПф) связующих марок П-1 и П-2 (ГОСТ 10632-89);
- в) древесно-стружечные плиты на каустическом магнезите (МДП);
- г) цементно-стружечные плиты на портландцементе (ЦСП).

Технические характеристики древесных плит приведены в Таблице 23.

При использовании древесных плит в качестве конструкционного материала, все расчеты необходимо выполнять на основании данных, полученных по результатам испытаний, проведенных в соответствии с принятыми в стандартах серии EN методиками, или по имеющимся данным с обязательным выполнением в соответствии с требованиями СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 калибровки частных коэффициентов.

**Таблица 23 – Технические характеристики древесных плит по данным к
СНиП II-25-80**

Показатели	Единица измерения	Значение показателей для				
		ДВПс	ДСПк	ДСПф	МДП	ЦСП
Плотность	кг/м ³	Св. 850	750 - 850	700 - 850	900 - 1200	1200-1300
Длина	мм	2750 - 3600	1830, 3660	1830, 3660	3600	2600 - 3600
Ширина	»	1200 - 1830	1200, 1830	1220, 1830	1220	1200
Толщина	»	5 - 10	12 - 22	10 - 22	10 - 18	8 - 40
Влажность	%	5 - 8	8 ± 2	8 ± 2	9 ± 4	До 12
Водопоглощение за 24 ч	»	30	До 15	До 15	18,26	16
Набухание за 24 ч	»	20	5	5	10,15	1,8

6 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ПЛОТНОСТИ

6.1 Общие положения по испытанию образцов

Характеристические значения свойств материалов должны определяться по действующим стандартам на методы испытаний и обработки результатов. В соответствии с 5.1.6 настоящего пособия, определение класса прочности поставляемых для изготовления деревянных конструкций пиломатериалов, должно осуществляться путем их испытаний на основании требований EN 384 и EN 408. Основными характеристическими значениями, по которым классифицируются пиломатериалы по классам прочности, в соответствии с требованиями стандарта EN 338, являются характеристические значения прочности и модуля упругости при испытании на изгиб и плотность древесины.

Для определения характеристических значений необходимо экспериментальным путем (методом испытаний) определить прочностные и упругие характеристики, а также плотность древесины. Характеристические значения прочностных и упругих характеристик могут определяться на основании результатов испытаний образцов натуральной величины или же с использованием альтернативных методов, базирующихся на результатах испытаний небольших образцов без дефектов с использованием значений прочности при изгибе, модуля упругости и плотности в соответствии с требованиями EN 384.

Образцы для испытаний следует отбирать из совокупности пиломатериалов, сортированных визуально или машинным способом, в соответствии с требованиями, приведенными в СТ РК EN 14081-1.

Количество образцов в каждой выборке должно составлять не менее 40.

Размер поперечного сечения образцов должен быть одинаковым во всей выборке. Однако, если для аналогичных пород древесины установлен эффект размера при сортировке, то допускается испытание меньшего количества типоразмеров образцов.

Образцы, испытываемые на сдвиг, растяжение и сжатие поперек волокон являются относительно небольшими и не должны иметь дефектов, снижающих свойства.

Испытания образцов проводят в соответствии с EN 408. При определении прочности на сдвиг вдоль волокон, растяжение и сжатие поперек волокон, критическое сечение выбирают в каждой части древесины. Данное сечение считают расположенным в предполагаемом месте разрушения, на основании визуального осмотра и другой информации, такой как измерения во время машинной сортировки. Критическое сечение должно находиться в положении, при котором образец можно подвергнуть испытаниям, например, не за пределами точек приложения нагрузки или в непосредственной близости к зажимным приспособлениям при испытаниях на растяжение. Для испытаний по определению модуля упругости методика должна соответствовать EN 408, а критическое сечение должно быть расположено между нагружающими устройствами. Сортом части древесины считают сорт критического сечения.

Для испытаний на изгиб, с целью определения прочности или модуля упругости, растянутую кромку в образцах выбирают случайным образом.

Для испытаний на растяжение с целью определения прочности или модуля упругости эффективная длина образца, свободная от захватных устройств, должна составлять девятикратную ширину образца.

Перед испытаниями образцов должны быть выполнены измерения их размеров, определена влажность и плотность древесины, выполнено кондиционирование (выдержка в стандартных температурно-влажностных условиях) образцов.

Размеры испытываемого образца следует измерять с точностью до 1 %. Все измерения необходимо проводить после кондиционирования испытываемых образцов, как установлено в п. 6.1.5 настоящего пособия. Если по ширине или толщине имеются отклонения, то данные размеры принимают как среднее значение из результатов трех отдельных измерений поперечного сечения, выполненных в различных местах по длине каждого образца.

Измерения проводят на расстоянии не ближе 150 мм от торцов образца.

Образцы, предназначенные для определения свойств вдоль волокон, должны быть остроганы.

Для каждого испытываемого образца должна быть определена влажность древесины. Влажность древесины испытываемого образца определяют в соответствии с EN 13183-1 на пробе, отобранной из испытываемого образца. Поперечное сечение пробы должно соответствовать поперечному сечению образца, проба не должна иметь свилей и смолистых включений.

При определении прочности на изгиб, растяжение и сжатие вдоль волокон, проба должна быть отобрана на минимально возможном расстоянии от места разрушения образца.

Плотность образца определяют на пробе, отобранной из цельного поперечного сечения испытанного образца. Поперечное сечение пробы должно соответствовать поперечному сечению образца, проба не должна иметь свилей и смолистых включений.

При определении плотности проба должна быть отобрана на минимально возможном расстоянии от места разрушения.

При определении свойств поперек волокон плотность образца следует определять до проведения испытаний на основании измерений массы и объема целого образца.

Испытания проводят на образцах, кондиционируемых при стандартной температуре окружающей среды $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(65 \pm 5)\%$. Испытываемый образец считают кондиционированным, когда он достигает постоянной массы. Считается, что постоянство массы достигнуто, если результаты двух последовательных взвешиваний испытываемого образца, проводимых с интервалом в 6 ч, не отличаются более чем на 0,1%.

Если древесину, подлежащую испытаниям, сложно привести в соответствие с указанными выше требованиями (например, для лиственных пород древесины с высокой плотностью), то все отклонения заносят в протокол испытаний.

Образцы малых размеров при отсутствии специальных условий не следует помещать в климатическую камеру ранее, чем за 1 ч до испытаний.

Примечание – Образцы складывают в помещении, предназначенном для проведения испытаний, на протяжении 24 ч при условии, что они плотно уложены в штабеля и плотно обернуты пароизоляционным материалом.

Для определения характеристического значения модуля упругости при изгибе следует использовать результаты, полученные при испытании образцов по определению общего модуля упругости в соответствии с требованиями EN 408.

6.2 Определение общего модуля упругости при изгибе

Минимальная длина испытываемого образца должна быть равна 19 - кратной высоте поперечного сечения. Если это условие невыполнимо, то значение пролета балки указывают в протоколе испытаний.

Испытываемый образец нагружают симметрично в двух точках пролета, равного 18 – кратной высоте поперечного сечения, как показано на Рисунке 10. Если испытываемый образец и оборудование не позволяют точно достичь данных условий, то расстояние между точками приложения нагрузки и опорами можно уменьшить на значение, не превышающее 1,5 высоты образца, а пролет испытываемого образца можно уменьшить на значение, не превышающее трехкратной высоты испытываемого образца, с сохранением симметрии нагружения.

Испытываемый образец должен быть свободно опертым.

Для предотвращения потери устойчивости обеспечивают наличие бокового закрепления. Закрепление должно обеспечивать возможность изгиба образца без значительного сопротивления трения.

Нагрузку прикладывают с постоянной скоростью. Скорость перемещения нагружающего устройства не должна превышать $0,003h$ мм/с (см. Рисунок 2).

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

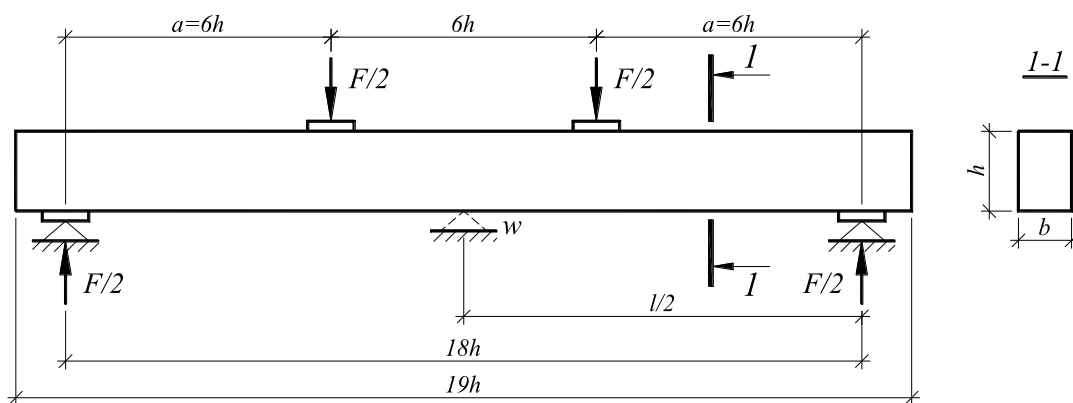


Рисунок 2 – Схема испытаний для определения модуля упругости образца при изгибе

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1 % от силы, приложенной к образцу, а для нагрузок составляющих менее 10 % от максимального значения – с точностью до 0,1 % от максимальной нагрузки.

Прогиб w следует определять в середине пролета на растянутой или сжатой кромках в плоскости симметрии поперечного сечения образца. В случае выполнения измерений на уровне нейтральной оси, результатом измерений является среднее значение, полученное из измерений на противоположных сторонах образца.

Используемое измерительное устройство должно обеспечивать измерение прогиба с точностью до 1 %, а при деформациях менее 2 мм - с точностью до 0,02 мм.

Для измерения прогиба может быть использовано приспособление, схема которого приведена на Рисунке 3.

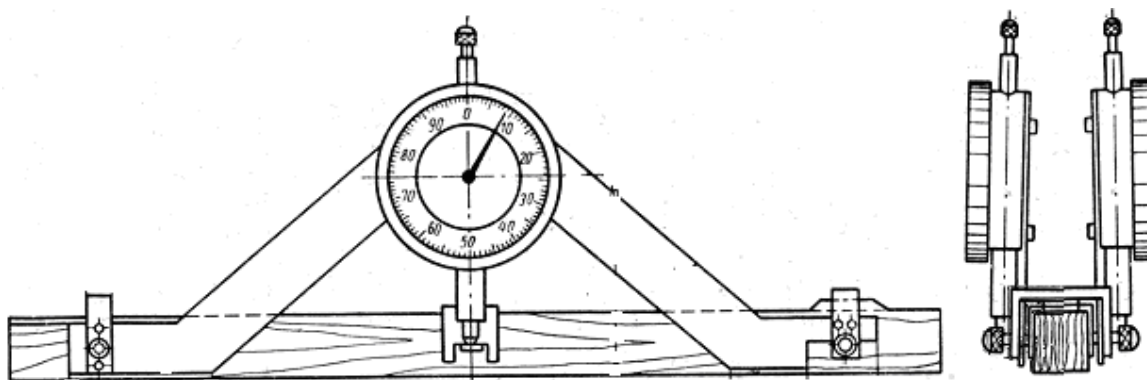


Рисунок 3 – Схема образца с расположением приборов при испытании на поперечный изгиб

Общий модуль упругости при изгибе определяют по Формуле

$$E_{m,g} = \frac{\ell^3 (F_2 - F_1)}{bh^3 (w_2 - w_1)} \left[\left(\frac{3a}{4\ell} \right) - \left(\frac{a}{\ell} \right)^3 \right], \quad (6.1)$$

где $E_{m,g}$ – общий модуль упругости при изгибе, Н/мм²;

$F_2 - F_1$ – приращение нагрузки на участке графика зависимости «нагрузка – прогиб» (Рисунок 12), Н;

$w_2 - w_1$ – приращение прогиба, соответствующее приращению $F_2 - F_1$ (Рисунок 4), мм;

l – пролет образца, мм;

b – толщина образца, мм;

h – высота поперечного сечения образца, мм.

Если модуль $E_{m,g}$ определяют из графика «нагрузка-прогиб», квадрат коэффициента корреляции должен превышать 0,99.

Модуль упругости следует вычислять с точностью до 1%.

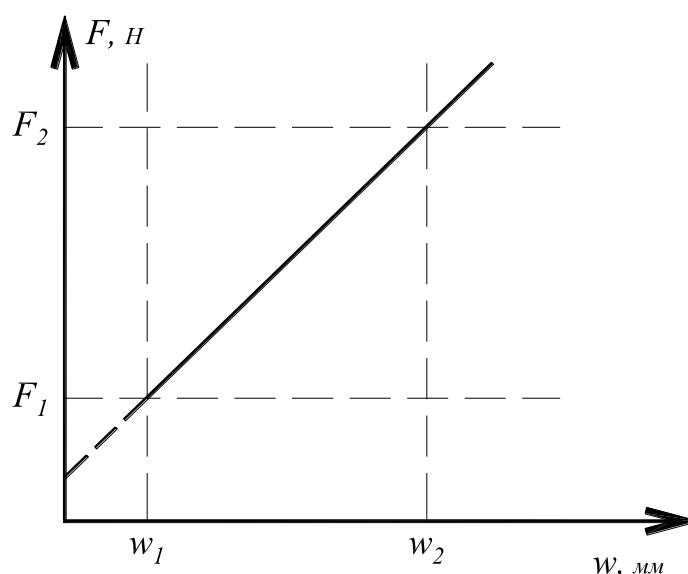


Рисунок 4– График зависимости «нагрузка - прогиб» в диапазоне упругих деформаций

6.3 Определение модуля сдвига

Определение модуля сдвига, используемого при проектировании, для цельной и клееной древесины можно получить с помощью одного из методов испытаний:

- по методу постоянного пролета;
- по методу переменного пролета.

Эти методы приведены в EN 408. Ниже приводится только один из методов по определению модуля сдвига – метод постоянного пролета.

Метод постоянного пролета заключается в определении локального $E_{m,\ell}$ и условного $E_{m,app}$ модулей упругости при изгибе для испытываемого образца одного и того же пролета.

Определение локального модуля упругости при изгибе.

Минимальная длина испытываемого образца должна быть равна 19 - кратной высоте поперечного сечения.

Испытываемый образец симметрично нагружают в двух точках пролета равного 18 - кратной высоте поперечного сечения, как показано на Рисунке 5. Если испытываемый образец и оборудование не позволяют точно достичь данных условий, то расстояние между точками приложения нагрузки и опорами можно уменьшить не более чем на 1,5 высоты образца, а пролет испытываемого образца можно уменьшить не более трехкратной высоты испытываемого образца с сохранением симметрии нагружения.

Испытываемый образец должен быть свободно опертым.

Для предотвращения потери устойчивости обеспечивают наличие бокового раскрепления образца. Раскрепление должно обеспечивать возможность изгиба образца без значительного сопротивления трения.

Нагрузку к образцу прикладывают с постоянной скоростью. Скорость перемещения нагружающего устройства не должна превышать $0,003h$ мм/с (Рисунок 5).

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

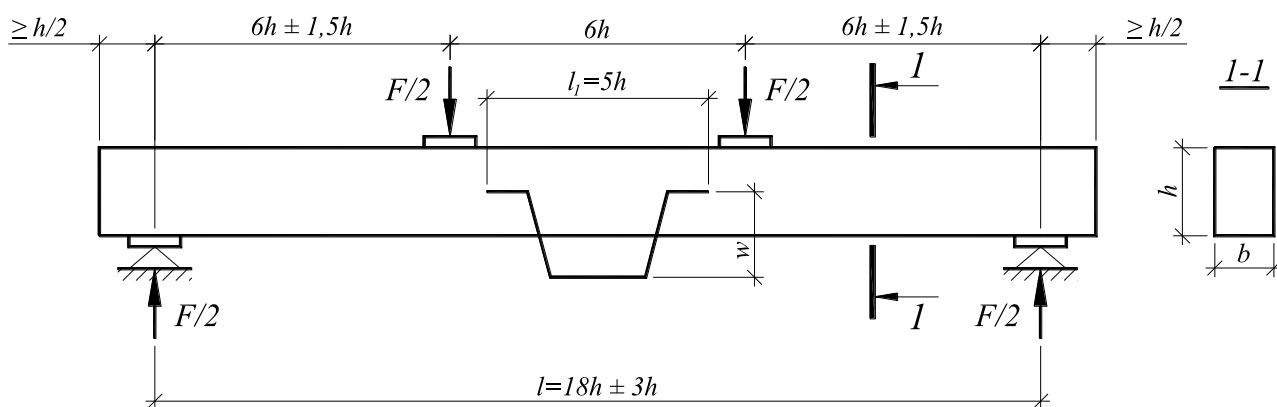


Рисунок 5 – Схема испытаний образца по определению локального модуля упругости при изгибе

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1 % от силы, приложенной к образцу, а для нагрузок составляющих менее 10 % от максимального значения – с точностью до 0,1 % от максимальной нагрузки.

Прогиб w принимают как среднее значение прогибов, измеренных от нейтральной оси на двух боковых поверхностях образца, в центре базы измерения индикатора, длина которой равна пятикратной высоте сечения образца.

Используемое измерительное устройство должно обеспечивать измерение деформации с точностью до 1 %, а при деформации менее 2 мм - с точностью до 0,02 мм.

Среднее значение разрушающей максимальной нагрузки F_{\max} для испытываемого материала должно быть получено на основании испытаний не менее 10 образцов из древесины одинакового сорта, класса и размеров или на основании результатов предыдущих испытаний.

Используя данные испытаний по определению локального модуля упругости, следует построить график зависимости между нагрузкой и прогибом для каждого образца.

Для регрессионного анализа следует использовать часть графика, соответствующую нагрузке от $0,1F_{\max}$ до $0,4F_{\max}$.

Следует определить участок графика наибольшей длины, который дает коэффициент корреляции не менее 0,99. Если указанный участок графика охватывает диапазон от $0,2F_{\max}$ до $0,3F_{\max}$, локальный модуль упругости вычисляют по формуле

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}, \quad (6.2)$$

где $F_2 - F_1$ – приращение нагрузки, соответствующее линии регрессии графика с коэффициентом корреляции не менее 0,99, Н;

$w_2 - w_1$ – приращение прогиба соответствующее $F_2 - F_1$ (см. Рисунок 4), мм;

I – момент инерции, мм⁴;

l_1 – длина базы измерения;

a – пролет, мм.

Значение локального модуля упругости следует вычислять с точностью до 1%.

Если при испытаниях участок графика с коэффициентом корреляции не менее 0,99 в диапазоне от $0,2F_{\max}$ до $0,3F_{\max}$ не получен, следует проверить испытательное оборудование и принять меры для устранения ошибок, вызванных дефектами образца. Если из графика невозможно выделить лучший охватывающий участок, то проверяют испытательную установку. Если при этом значение коэффициента корреляции не достигает величины 0,99, то образец бракуют.

6.3.1 Определение условного модуля упругости при изгибе.

Для определения условного модуля упругости используется образец, который испытывался при определении локального модуля упругости при изгибе (см. п.6.3.2).

При определении условного модуля упругости образцы следует нагружать сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета, с такой же длиной базы измерения, как описано выше в п. 6.3.2 и показано на Рисунке 5. В данном случае $\ell = \ell_1$. Испытываемый образец должен быть свободно опертым.

Для предотвращения потери устойчивости обеспечивают наличие бокового закрепления. Закрепление должно обеспечивать возможность изгиба образца без значительного сопротивления трения.

Нагрузку прикладывают с постоянной скоростью. Скорость перемещения активного захвата нагружающего устройства не должна превышать $0,0002h$ мм/с.

Прикладываемая к образцу максимальная нагрузка не должна превышать предел пропорциональности или приводить его к разрушению.

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1 % от силы, приложенной к образцу, а для нагрузок, составляющих менее 10 % от максимального значения - с точностью до 0,1 % от максимальной нагрузки.

Прогиб w образца следует определять в середине пролета.

Используемое измерительное устройство должно обеспечивать измерение деформации с точностью до 1%, а при деформации менее 2 мм - с точностью до 0,02 мм.

Условный модуль упругости $E_{m,app}$ определяют по формуле

$$E_{m,app} = \frac{\ell_1^3(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)}, \quad (6.3)$$

где $E_{m,app}$ – условный модуль упругости, Н/мм²;

$F_2 - F_1$ – приращение нагрузки на участке графика зависимости «нагрузка-прогиб» (см. Рисунок 4), Н;

$w_2 - w_1$ – приращение прогиба, соответствующее $F_2 - F_1$ (см. Рисунок 12), мм;

I – момент инерции, мм⁴;

l_1 – длина базы измерения, мм.

Если $E_{m,app}$ определяют из графика «нагрузка-прогиб», то квадрат коэффициента корреляции должен превышать 0,99.

Условный модуль упругости вычисляют с точностью до 1%.

Модуль сдвига G определяют по формуле

$$G = \frac{k_G h^2}{l_1^2 \left[\frac{1}{E_{m,app}} - \frac{1}{E_{m,l}} \right]}, \quad (6.4)$$

где G – модуль сдвига, Н/мм²;

h – высота поперечного сечения образца, мм;

k_G – коэффициент формы поперечного сечения образца, равный 1,2 для образцов с поперечным сечением в виде прямоугольника или квадрата;

l_1 – длина базы измерения, мм.

$E_{m,app}$ – условный модуль упругости при изгибе, Н/мм²;

$E_{m,l}$ – локальный модуль упругости при изгибе, Н/мм².

Модуль сдвига вычисляют с точностью до 1 %.

6.4 Определение модуля упругости при растяжении вдоль волокон

Образцы для испытаний по определению модуля упругости должны иметь целостное поперечное сечение и достаточную длину для того, чтобы длина рабочей зоны, свободная от захватов испытательной установки, составляла не менее девяти размеров большей стороны поперечного сечения.

Для нагружения образцов следует использовать зажимные приспособления, которые позволят прикладывать усилия растяжения без изгиба. Описание захватных приспособлений и фактические условия нагружения записывают в протоколе испытаний.

Нагрузку к образцам прикладывают с постоянной скоростью, вызывающей приращение относительной деформации не более 0,00005 в секунду.

Максимальная нагрузка, прикладываемая к испытываемому образцу, не должна превышать предел пропорциональности и не вызывать его разрушения.

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1 % от силы, приложенной к образцу, а для нагрузок, соответствующих менее 10 % от максимального значения - с точностью до 0,1 % от максимальной нагрузки.

Деформации следует определять на длине равной 5-кратной ширине образца, на расстоянии не менее 2-кратной ширины образца от захватов. Два используемых тензометра следует располагать таким образом, чтобы уменьшить влияние дефектов формы образца.

Деформации следует определять с точностью до 1 %, а при деформации менее 2 мм – с точностью до 0,02 мм.

Модуль упругости при растяжении $E_{t,0}$ определяют по формуле

$$E_{t,0} = \frac{\ell_1(F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)}, \quad (6.5)$$

где $F_2 - F_1$ – приращение нагрузки на прямолинейном участке графика зависимости «нагрузка-деформация», Н (Рисунок 4);

$w_2 - w_1$ – приращение деформации, соответствующее $F_2 - F_1$ (Рисунок 4), мм;

ℓ_1 – длина базы измерения, мм;

A – площадь поперечного сечения испытываемого образца, мм².

Если $E_{t,0}$ определяют из линейного графика «нагрузка-деформация», то квадрат коэффициента корреляции должен превышать 0,99.

Модуль упругости при растяжении вычисляют с точностью до 1%.

6.5 Определение модуля упругости при сжатии вдоль волокон

Определение модуля упругости при сжатии вдоль волокон должно осуществляться путем испытаний образцов, имеющих целостное поперечное сечение, длина которых должна составлять шесть размеров от меньшего размера поперечного сечения. Торцевые поверхности образцов должны быть плоскими и параллельными друг другу, а также перпендикулярными оси образца.

Нагружение образца осуществляется вдоль его оси с использованием шарнирных зажимных головок или других приспособлений, обеспечивающих приложение нагрузки без возникновения изгиба. После приложения предварительной нагрузки должно быть исключено смещение зажимных головок от вертикальной оси. Приложение нагрузки к образцу осуществляется с постоянной скоростью. Скорость перемещения нагружающего устройства не должна превышать 0,000051 мм/с.

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1% от силы, приложенной к образцу, а для нагрузок, составляющих менее 10 % от максимального значения – с точностью до 0,1 % от максимальной нагрузки.

Деформации следует определять на центрально расположенном участке измерения длиной равной четырехкратной ширине (или меньшему размеру поперечного сечения) образца. Для измерения деформаций следует использовать два тензометра, расположенных на противоположных плоскостях образца.

Деформации определяют с точностью до 1%, а при деформации менее 2 мм – с точностью до 0,02 мм.

Модуль упругости при сжатии $E_{с,0}$ определяют по формуле

$$E_{с,0} = \frac{\ell_1(F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)}, \quad (6.6)$$

где $F_2 - F_1$ – приращение нагрузки на прямолинейном участке графика зависимости «нагрузка-деформация», Н (Рисунок 4);

$w_2 - w_1$ – приращение деформации, соответствующее $F_2 - F_1$ (Рисунок 4), мм;

ℓ_1 – длина базы измерения, мм;

A – площадь поперечного сечения испытываемого образца, мм².

Если $E_{с,0}$ определяют из графика «нагрузка-деформация», то квадрат коэффициента корреляции должен превышать 0,99.

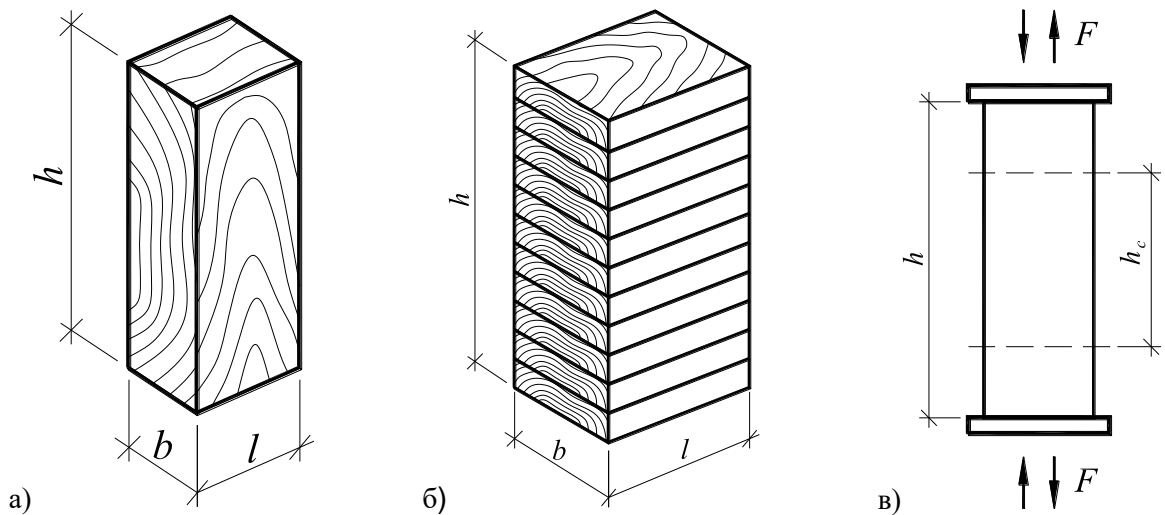
Модуль упругости при сжатии должен вычисляться с точностью до 1%.

6.6 Определение модуля упругости поперек волокон

Для определения модуля упругости и прочности древесины при сжатии или растяжении поперек волокон должны быть изготовлены образцы в виде прямоугольных призм (Рисунок 6). Размеры образцов должны соответствовать требованиям, установленным в Таблице 24.

Таблица 24 – Размеры испытываемых образцов при растяжении и сжатии поперек волокон

Характеристика образца						
Цельная древесина			Клееная слоистая древесина			
b , мм	h , мм	l , мм	Объем	$b \times l$, мм ²	$b_{\text{минимум}}$, мм	h , мм
Растяжение						
45	180	70	0,01 м ³	25000	100	400
Сжатие						
45	90	70	-	25000	100	200



а) – образец из цельной и б) – слоистой клееной древесины; в) – схема испытаний
Рисунок 6 – Общий вид образцов и схема испытаний по определению модуля упругости и прочности древесины поперек волокон

Образцы должны испытываться в соответствии со схемой, приведенной на Рисунке 6 в.

Испытываемый образец устанавливают в вертикальном положении между зажимными устройствами испытательной установки и прикладывают соответствующую нагрузку сжатия или растяжения. Длину базы измерения h_0 (приблизительно $0,6 h$), располагают посередине высоты испытываемого образца, но не ближе чем $b/3$ до нагруженных концов испытываемого образца (Рисунок 6 в) Нагружение образца должно осуществляться вдоль его продольной оси. Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1 % от силы, приложенной к образцу, а для нагрузок, составляющих менее 10 % от максимального значения - с точностью до 0,1 % от максимальной нагрузки.

При испытаниях на сжатие после приложения предварительной нагрузки, нагружающие устройства фиксируют для предотвращения вращения или углового смещения в процессе испытаний.

При испытаниях на растяжение или сжатие продольная ось испытываемого образца должна совпадать с осью установки. Образец должен быть зафиксирован таким образом, чтобы исключить возникновение начальных напряжений в испытываемом образце, кроме напряжений, вызванных собственной массой испытываемого образца и массой нагружающего устройства.

При испытаниях цельной древесины на растяжение захваты образцов должны быть шарнирными, а ось шарниров должна быть параллельной направлению волокон испытываемого образца.

Нагрузку F прикладывают с постоянной скоростью на протяжении испытаний. Скорость приложения нагрузки должна быть отрегулирована таким образом, чтобы максимальная нагрузка $F_{c,90,max,est}$ или $F_{t,90,max}$ была достигнута в течение (300 ± 120) с.

Для измерения деформаций следует использовать два датчика деформаций, расположенных таким образом, чтобы минимизировать влияние искривления. Датчики должны определять деформацию с точностью до 1%. Деформация в направлении

приложения нагрузки относится к центру нагруженного сечения, который вычисляют на основании измерений, произведенных на двух противоположных сторонах испытываемого образца. Данные каждого датчика регистрируют отдельно.

Модуль упругости $E_{c,90}$ при сжатии поперек волокон вычисляют по формуле

$$E_{c,90} = \frac{(F_{40} - F_{10})h_0}{(w_{40} - w_{10})bl}, \quad (6.7)$$

где $F_{40} - F_{10}$ – приращение нагрузки на прямолинейном участке графика зависимости «нагрузка-деформация», Н. F_{10} должна составлять 10 %, а $F_{40} - 40$ % от $F_{c,90,max}$;

$w_{40} - w_{10}$ – приращение деформации, соответствующее $F_{40} - F_{10}$, мм;

l – ширина поперечного сечения образца, мм;

b – высота поперечного сечения образца, мм;

h_0 – длина базы измерения, мм.

Модуль упругости следует определять с точностью до 1%.

Определение $F_{c,90,max}$ осуществляется следующим образом. Первоначально определяется значение нагрузки $F_{c,90,max}$. Для этого используются результаты предварительных испытаний и строится диаграмма «нагрузка-деформация», как показано на Рисунке 7. Вычисляют значения $0,1 F_{c,90,max}$ и $0,4 F_{c,90,max}$ и определяют соответствующие им точки на диаграмме. Через данные две точки проводят прямую 1. Через точки, соответствующие нагрузке $F = 0$ и деформации $w = 0,01h_c$, строят прямую 2, параллельную прямой 1. Точка пересечения прямой 2 с диаграммой «нагрузка-деформация» является значением $F_{c,90,max}$. Если значение $F_{c,90,max}$ находится в пределах ± 5 % от $F_{c,90,max,est}$, то данное значение можно использовать для определения прочности при сжатии; в другом случае повторяют процедуру до получения значения $F_{c,90,max}$ в пределах данных допустимых отклонений.

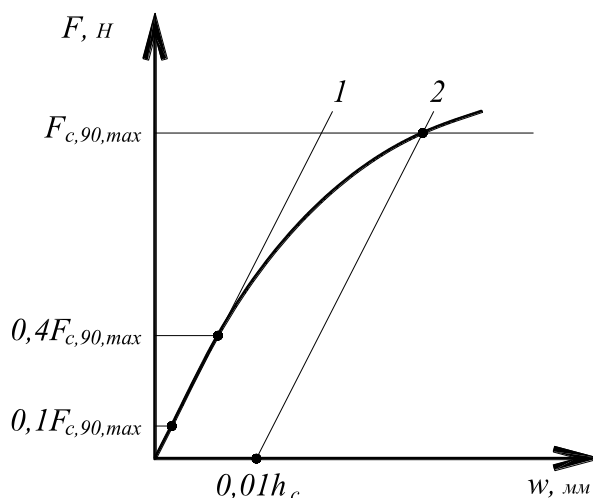


Рисунок 7 – Диаграмма «нагрузка-деформация» при сжатии образцов

Модуль упругости $E_{t,90}$ при растяжении поперек волокон следует определять по формуле

$$E_{t,90} = \frac{(F_{40} - F_{10})h_0}{(w_{40} - w_{10})bl}, \quad (6.8)$$

где $F_{40} - F_{10}$ – приращение нагрузки на прямолинейном участке диаграммы «нагрузка-деформация», Н. F_{10} должна составлять 10%, а F_{40} – 40% от $F_{t,90,max}$;

$w_{40} - w_{10}$ – приращение деформации, соответствующее $F_{40} - F_{10}$, мм;

l – ширина поперечного сечения образца, мм;

b – высота поперечного сечения образца, мм;

h_0 – длина базы измерения, мм.

Модуль упругости должен вычисляться с точностью до 1%.

6.7 Определение прочности при поперечном изгибе

При определении прочности древесины при изгибе минимальная длина испытываемого образца должна быть равна, как правило, 19 – кратной высоте поперечного сечения.

Нагружение образца осуществляют симметрично в двух точках пролета, равного 18 – кратной высоте поперечного сечения, как показано на Рисунке 2. Если испытываемый образец и оборудование не позволяют точно достичь данных условий, то расстояние между точками приложения нагрузки и опорами может быть уменьшено не более чем на 1,5 высоты образца, а пролет не более чем трехкратная высота образца при сохранении симметрии нагружения.

Испытываемый образец должен быть свободно опертым.

Для предотвращения потери устойчивости обеспечивают наличие бокового раскрепления. Раскрепление должно обеспечивать возможность изгиба образца без значительного сопротивления трения.

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1 % от силы, приложенной к образцу.

Нагрузку прикладывают с постоянной скоростью, при этом максимальная нагрузка должна быть достигнута через (300 ± 120) с.

В процессе испытаний регистрируют время до разрушения каждого испытываемого образца и его среднее значение заносят в протокол испытаний. Отклонение по времени испытаний более чем на 120 с от оптимального значения 300 с, заносят в протокол испытаний.

Прочность при изгибе f_m определяют по формуле

$$f_m = a \cdot F_{max} / (2W), \quad (6.9)$$

где a – расстояние между точкой приложения нагрузки и ближайшей опорой, мм;

F_{max} – величина разрушающей нагрузки, Н;

W – момент сопротивления, мм³.

Прочность при изгибе следует вычислять с точностью до 1%.

Регистрируют характер разрушения каждого испытываемого образца.

6.8 Определение прочности при растяжении вдоль волокон

Испытываемый образец должен иметь целостное поперечное сечение и достаточную длину, чтобы расстояние между захватами испытательной установки составляло не менее девятикратного большего размера поперечного сечения.

Испытываемый образец нагружают, используя зажимные приспособления, которые позволят прикладывать усилия растяжения без изгиба.

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки, растягивающей образец, с точностью до 1 % от силы.

Нагрузка к образцу должна прикладываться с постоянной скоростью, при этом максимальная нагрузка должна быть достигнута через (300 ± 120) с. В процессе испытаний фиксируется время испытаний каждого образца и его среднее значение записывается в протоколе испытаний.

Прочность при растяжении $f_{t,0}$ вдоль волокон определяют по формуле

$$f_{t,0} = F_{\max}/A, \quad (6.10)$$

где F_{\max} – нагрузка, при которой произошло разрушение образца, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм².

Прочность при растяжении должна быть вычислена с точностью до 1%.

Характер разрушения и сведения о его протекании при каждом испытании заносят в протокол испытаний. Если разрушение образца произошло в захватах испытательной машины, данный факт заносят в протокол испытаний.

6.9 Определение прочности при сжатии вдоль волокон

Испытываемый образец должен иметь целостное поперечное сечение и длину, равную шестикратному меньшему размеру поперечного сечения. Торцевые поверхности должны быть тщательно подготовлены таким образом, чтобы они были плоскими, параллельными друг другу и перпендикулярными оси образца.

Нагружение образца должно осуществляться вдоль его оси с использованием шарнирных зажимных головок или других приспособлений, обеспечивающих приложение нагрузки без возникновения изгиба. После приложения предварительной нагрузки должно быть исключено смещение зажимных головок от вертикальной оси.

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1% от силы, приложенной к образцу.

Нагрузку прикладывают с постоянной скоростью, при этом максимальная нагрузка должна быть достигнута через (300 ± 120) с.

Время испытаний каждого образца заноситься в протокол испытаний..

Прочность при сжатии $f_{c,0}$ определяют по формуле

$$f_{c,0} = F_{\max}/A, \quad (6.11)$$

где F_{\max} – нагрузка, при которой произошло разрушение образца, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм².

Прочность при сжатии вычисляют с точностью до 1%.

Характер разрушения и сведения о его протекании при каждом испытании заносят в протокол испытаний.

6.10 Определение прочности при растяжении и сжатии поперек волокон

Образцы для испытаний по определению прочности при растяжении и сжатии должны приниматься в соответствии с Таблицей 24 в п. 6.6.1.

Нагружение образцов и схема испытаний должны соответствовать требованиям п. 6.6.2.

Прочность при сжатии поперек волокон $f_{c,90}$ определяют по формуле

$$f_{c,90} = \frac{F_{\bar{n},90,\max}}{b\ell}, \quad (6.12)$$

где $F_{c,90\max}$ – нагрузка, при которой произошло разрушение образца, Н;

b – ширина поперечного сечения образца, м;

l – высота поперечного сечения, мм.

Прочность при сжатии определяют с точностью до 1 %. Определение $F_{c,90,\max}$ осуществляют как в п. 6.6.4.

Прочность при растяжении поперек волокон $f_{t,90}$ определяют по формуле

$$f_{t,90} = \frac{F_{t,90,\max}}{b \cdot \ell}, \quad (6.13)$$

где $F_{t,90\max}$ – нагрузка, при которой произошло разрушение образца, Н;

b – ширина поперечного сечения образца, м;

l – высота поперечного сечения, мм.

Прочность при растяжении определяют с точностью до 1%.

Результат испытаний не учитывают, если разрушение возникло на участке соединения испытываемого образца с испытательной установкой (например, по поверхности склеивания между древесиной испытываемого образца и стальными пластинами). При частичном разрушении по поверхностям склеивания испытываемого

образца и стальной пластины результат учитывают только в том случае, если площадь поверхности разрушения составляет менее 20 %.

6.11 Определение прочности при скалывании вдоль волокон

Образцы для испытаний изготавливаются в соответствии с Рисунком 8. Размеры образцов должны быть следующими: $l = (300 \pm 2)$ мм; $b = (32 \pm 1)$ мм; $h = (55 \pm 1)$ мм. Толщина стальной пластины должна составлять (10 ± 1) мм.

Испытываемый образец приклеивают к стальным пластинам. Стальные пластины должны быть клиновидными, как показано на Рисунке 8.

Все поверхности, к которым прикладывается нагрузка, должны быть тщательно выровнены, параллельны друг другу и перпендикулярны оси образца. Подготовку осуществляют после кондиционирования образцов.

Испытываемый образец устанавливают в устройство для испытаний, как показано на Рисунке 8б). Испытываемый образец выравнивают таким образом, чтобы сохранялся постоянный контакт в местах приложения нагрузки F . Угол между направлением приложения нагрузки и продольной осью испытываемого образца должен составлять 14° .

Используемое нагружающее устройство должно обеспечивать возможность измерения нагрузки с точностью до 1 %, или с точностью до 0,1 % при нагрузках менее 10 % от максимальной нагрузки.

При частичном разрушении поверхности склеивания испытываемого образца и стальной пластины, результат учитывают только в том случае, если площадь поверхности разрушения составляет менее 20 %.

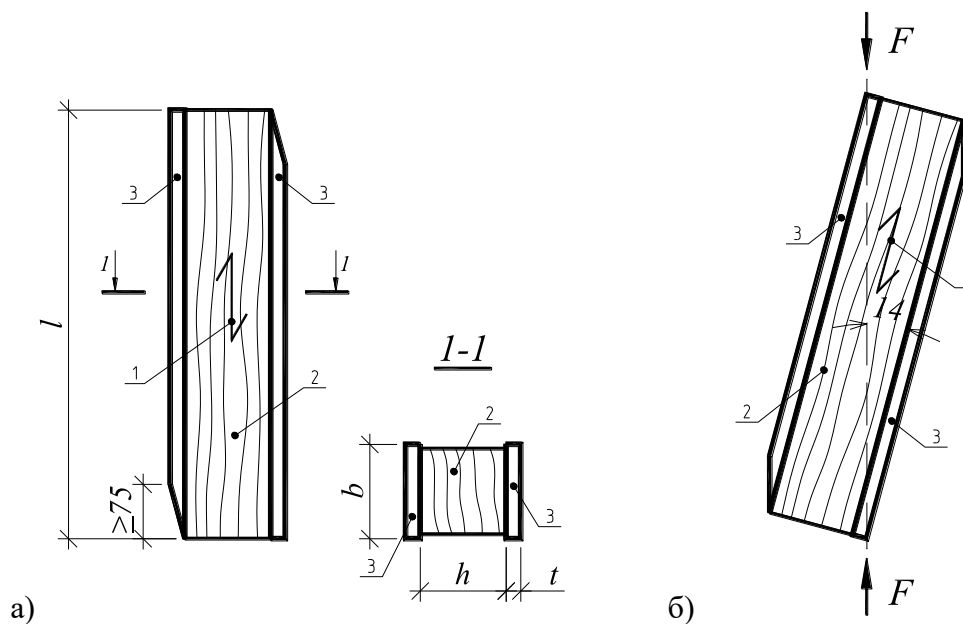
Прочность при сдвиге f_v определяют с точностью до 1% по формуле

$$f_v = \frac{F_{\max} \cos 14^\circ}{\ell b}, \quad (6.14)$$

где F_{\max} – нагрузка, при которой произошло разрушение образца, Н;

b – ширина поперечного сечения образца, мм;

ℓ – длина образца, мм.



а) – общий вид образца; б) – схема испытаний; 1 - направление волокон; 2 – испытываемый образец; 3 – стальная пластина

Рисунок 8 – Испытываемый образец и схема испытаний

6.12 Анализ данных, полученных при испытании образцов

Для определения характеристических значений необходимо выполнить анализ данных, полученных при испытании образцов. Анализ данных проводят для определения 5 %-ого квантиля для свойств прочности, среднего значения модулей упругости, сдвига, и плотности, а также осуществляют корректировку этих значений, если в процессе испытаний были отклонения от стандартных условий испытаний в части температурно-влажностных условий и размеров испытываемых образцов. Все корректировки должны выполняться в соответствии с требованиями EN 384.

В соответствии с EN 384 для каждой выборки значение 5 %-ого квантиля определяют по формуле:

$$f_{05} = f_r, \quad (6.15)$$

где f_r получают путем систематизации всех значений испытаний выборки по возрастанию.

5 %-ый квантиль является значением, для которого 5 % значений являются более низкими или равными. Если 5 %-ый квантиль не соответствует ни одному из фактических значений испытаний (т.е. количество значений испытания не делится на 20), то необходима интерполяция между двумя соседними значениями.

Среднее значение модуля упругости выборки \bar{E} вычисляют по формуле, которая включает корректировку для получения модуля упругости при чистом изгибе:

$$\bar{E} = [\sum E_i \ln] \times 1,3 - 2690, \quad (6.16)$$

где E_i – i -ое значение модуля упругости в диапазоне от 1 до n , Н/мм².

Стандартной влажностью древесины является ее влажность при относительной влажности воздуха 65 % и температуре 20°C.

Примечание – Для большинства хвойных пород это соответствует влажности древесины около 12 %.

Стандартными условиями по определению прочности при изгибе являются испытания балочных образцов высотой 150 мм, пролетом равным 18-кратной высоте образца и нагружением силами в третях пролета.

Стандартными условиями при определении прочности и модуля упругости от растяжения являются испытания образцов шириной 150 мм с эффективной длиной (свободной от захватных устройств) равной девятикратной ширине образца.

Значение 5 %-ого квантиля или среднее значение для каждой выборки должно быть откорректировано до значений при стандартных условиях.

6.12.1.1 Для образцов, которые были испытаны не при стандартных условиях, но имеющих среднюю влажность древесины в пределах от 10 % до 18 %, должна быть осуществлена корректировка значений меньших 5 %-ого квантиля или среднего значения, при этом применяют следующие правила:

- для прочности при изгибе и растяжении: корректировку не проводят;
- для прочности при сжатии вдоль волокон: изменение составляет 3 % на каждый процент изменения влажности;
- для модуля упругости: изменение составляет 2 % на каждый процент изменения влажности;
- для прочности при сжатии вдоль волокон и модуля упругости: корректировки проводят таким образом, что значения характеристик увеличиваются, если данные корректируют при большем влагосодержании и наоборот.

6.12.1.2 Для образцов, которые были испытаны не при стандартных условиях, касающихся размеров поперечного сечения и эффективной длины, 5 %-ый квантиль прочности при изгибе и растяжении должен быть откорректирован к значению, соответствующему высоте или ширине образца 150 мм путем деления на

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}. \quad (6.17)$$

Если схема испытаний на изгиб не соответствовала EN 408 (т.е. пролет $l \neq 18h$ и расстояние между точками приложения нагрузки $a \neq 6h$), 5 %-ый квантиль прочности при изгибе корректируют путем деления на

$$k_l = \left(\frac{l_{es}}{l_{et}} \right)^{0,2}, \quad (6.18)$$

где l_{es} и l_{et} вычисляют следующим образом:

$$l_{es} \text{ или } l_{et} = l + 5a_f,$$

здесь a_f и l имеют соответствующие стандартные значения, использованные при испытаниях.

6.12.1.3 Если методы испытаний, условия испытаний отличаются от стандартных условий, установленных в п. 6.12.7.1 и п. 6.12.7.2, то коэффициенты корректировки получают из аналогичных методов или условий и используют для корректировки 5 %-ого квантиля или среднего значения при стандартных условиях.

Характеристическое значение прочности f_k вычисляют по формуле

$$f_k = \bar{f}_{05} \cdot k_s \cdot k_v, \quad (6.19)$$

где \bar{f}_{05} – среднее из скорректированных значений 5 %-ого квантиля (f_{05}) для каждой выборки, в зависимости от количества образцов в каждой выборке. Если \bar{f}_{05} превышает наименьшее скорректированное значение f_{05} , умноженное на 1,2, то должна быть повторно определена стандартная совокупность для исключения наименьшего значения, или \bar{f}_{05} должно быть присвоено значение самого низкого значения f_{05} , умноженного на 1,2;

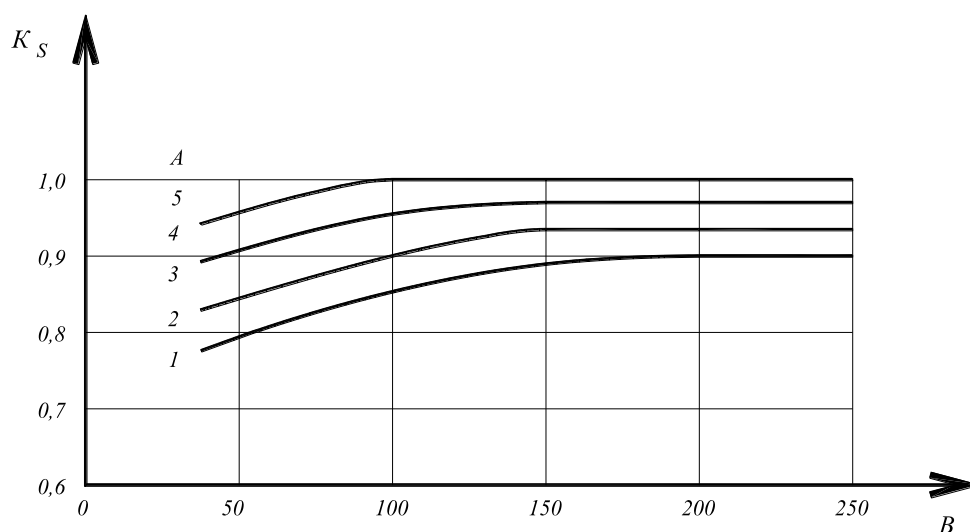
k_s – коэффициент для корректировки количества выборок и их объема, определяемый по Рисунку 9;

k_v – коэффициент для учета минимального изменения значения f_{05} в случае машинной сортировки по сравнению с визуальной сортировкой;

В случае машинной сортировки при $f_{mk} > 30 \text{ Н/мм}^2$ и визуальной сортировки $k_v = 1,0$.

В случае машинной сортировки при $f_{mk} \leq 30 \text{ Н/мм}^2$ $k_v = 1,12$.

Коэффициенты k_s и k_v не используются для вычисления характеристических значений прочности при сдвиге, растяжении и сжатии поперек волокон.



A – количество выборок; B – количество образцов в наименьшей выборке

Рисунок 9 – Зависимость коэффициента k_s от количества выборок и их объема

После корректировки значения \bar{E} для каждой выборки (6.12.3) до стандартных условий (см. 6.12.5 – 6.12.7) характеристическое значение $E_{0,\text{mean}}$ вычисляют по формуле

$$E_{0,\text{mean}} = \frac{\sum \bar{E}_j n_j}{\sum n_j}, \quad (6.20)$$

где n_j – количество образцов в выборке j ;

\bar{E}_j – среднее значение модуля упругости для выборки j , Н/мм².

Характеристическое значение плотности вычисляют по результатам измерений плотности образцов в выборках, отобранных в соответствии с EN 384.

Измерения производят в соответствии с ISO 3131:1975 (6.1). Если влажность превышает 12 %, то плотность уменьшают на 0,5 % на каждый процент изменения влажности, а если влажность ниже 12 %, то плотность увеличивают на 0,5 % на каждый процент изменения влажности. Массу и объем измеряют при влажности древесины во время испытаний. 5%-ный квантиль плотности образца ρ_{05} вычисляют по формуле

$$\rho_{05} = (\bar{\rho} - 1,65 \cdot s), \quad (6.21)$$

где $\bar{\rho}$ и s – среднее значение и стандартное отклонение, соответственно, плотностей всех образцов в выборке, кг/м³.

Если не все образцы испытаны до разрушения, то плотность каждого образца допускается определять из массы и объема целого образца и корректировать до плотности небольших образцов, не имеющих дефектов, установленных в ISO 3131:1975, путем деления на 1,05. Данная корректировка не включает корректировку влажности, которая должна выполняться в обязательном порядке в случае отклонений условий от стандартных. Характеристическую плотность ρ_k вычисляют по формуле

$$\rho_k = \frac{\sum \rho_{05j} \cdot n_j}{\sum n_j}, \quad (6.22)$$

где n_j – количество образцов в выборке j ;

ρ_{05j} – 5%-ный квантиль значения плотности для выборки j .

Для определения характеристических значений механических свойств могут применяться альтернативные методы, которые приведены в 7.1.3. Сущность этих методов заключается в использовании характеристических значений прочности при изгибе, среднего значения модуля упругости при изгибе, плотности древесины на основании зависимостей с другими прочностными и упругими характеристиками.

Контроль установленных характеристических значений должен осуществляться в соответствии с требованиями EN 384.

В зависимости от характеристических значений прочности при изгибе цельная или клееная древесина относится к соответствующему классу прочности в том случае, если все остальные основные характеристические значения свойств не ниже значений, приведенных в Таблицах 1, 3 и 4.

7 ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ И РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

7.1 Характеристические свойства цельной и клееной древесины

К основным характеристическим значениям свойств древесины, используемым при проектировании деревянных конструкций относятся:

а) цельная древесина:

- характеристическое значение прочности при сжатии вдоль волокон ($f_{c,0,k}$);
- характеристическое значение прочности при сжатии поперек волокон ($f_{c,90,k}$);
- характеристическое значение прочности при изгибе ($f_{m,k}$);
- характеристическое значение прочности при растяжении вдоль волокон ($f_{t,0,k}$);
- характеристическое значение прочности при растяжении поперек волокон ($f_{t,90,k}$);
- характеристическое значение прочности при сдвиге вдоль волокон ($f_{v,k}$);
- пятипроцентный квантиль значения модуля упругости вдоль волокон ($E_{0,05}$);
- среднее значение модуля упругости вдоль волокон (E_{mean});
- пятипроцентный квантиль значения модуля сдвига ($G_{0,05}$);
- среднее значение модуля сдвига (G_{mean});
- характеристическая плотность (ρ_k);
- средняя плотность (ρ_m).

б) многослойная клееная древесина:

- характеристическое значение прочности при сжатии вдоль волокон ($f_{c,0,g,k}$);
- характеристическое значение прочности при сжатии поперек волокон ($f_{c,90,g,k}$);
- характеристическое значение прочности при изгибе ($f_{m,g,k}$);
- характеристическое значение прочности при растяжении вдоль волокон ($f_{t,0,g,k}$);
- характеристическое значение прочности при растяжении поперек волокон ($f_{t,90,g,k}$);
- характеристическое значение прочности при сдвиге вдоль волокон ($f_{v,g,k}$);
- пятипроцентный квантиль значения модуля упругости вдоль волокон ($E_{0,g,05}$);
- среднее значение модуля упругости вдоль волокон ($E_{0,g,mean}$);
- среднее значение модуля упругости поперек волокон ($E_{90,g,mean}$);
- среднее значение модуля сдвига ($G_{g,mean}$);
- характеристическая плотность ($\rho_{g,k}$).

Характеристические значения свойств цельной и клееной древесины определяются путем испытаний стандартных образцов и статистической обработкой результатов в соответствии с требованиями стандартов EN 384, EN 408, EN 1193 или принимаются по Таблицам EN 338, EN 1194.

Для цельной древесины допускается определять характеристические значения по формулам (альтернативный метод), если известны характеристические значения

прочности при изгибе, модуля упругости древесины при сжатии вдоль волокон и плотности древесины. Тогда в соответствии с EN 338:

– прочность при растяжении вдоль волокон

$$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k} \quad (7.1)$$

– прочность при сжатии вдоль волокон

$$f_{c,0,k} = 5(f_{m,k})^{0,45}; \quad (7.2)$$

– прочность при сдвиге

$$f_{v,k} = \begin{cases} 3,8 \\ 0,2(f_{m,k})^{0,8} \end{cases}; \quad (7.3)$$

– прочность при растяжении поперек волокон

$$f_{t,90,k} = \min \begin{cases} 0,6 \\ 0,0015 \rho_k \end{cases}; \quad (7.4)$$

– прочность при сжатии поперек волокон для древесины хвойных пород

$$f_{t,90,k} = 0,007 \rho_k; \quad (7.5)$$

– прочность при сжатии поперек волокон для древесины лиственных пород

$$f_{t,90,k} = 0,015 \rho_k; \quad (7.6)$$

– модуль упругости вдоль волокон для древесины хвойной пород

$$E_{0,05} = 0,67 E_{0, \text{mean}}; \quad (7.7)$$

– модуль упругости вдоль волокон для древесины лиственных пород

$$E_{0,05} = 0,84 E_{0, \text{mean}}; \quad (7.8)$$

– среднее значение модуля упругости поперек волокон для древесины хвойных пород

$$E_{90, \text{mean}} = \frac{E_{0, \text{mean}}}{30}; \quad (7.9)$$

– среднее значение модуля упругости поперек волокон для древесины хвойных пород

$$E_{90,\text{mean}} = \frac{E_{0,\text{mean}}}{15}; \quad (7.10)$$

– среднее значение модуля сдвига

$$G_{\text{mean}} = \frac{E_{0,\text{mean}}}{16} \quad (7.11)$$

При расчете элементов деревянных конструкций из цельной древесины необходимо учитывать влияние размеров на характеристические значения прочности. Для прямоугольных деревянных элементов с характеристической плотностью древесины $\rho_k \leq 700 \text{ кг/м}^3$, если высота поперечного сечения при изгибе или ширина при растяжении менее 150 мм, характеристические значения $f_{m,k}$ и $f_{t,0,k}$ должны быть умножены на коэффициент k_h . Коэффициент k_h определяется по Формуле (3.1) в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 или из Таблицы 6 части 1 настоящего пособия.

Для однородной многослойной клееной древесины характеристические значения определяют по формулам EN 1194 (альтернативный метод), если известны характеристическая прочность при растяжении $f_{t,0,1,k}$, модуль упругости вдоль волокон $E_{0,1,\text{mean}}$ и плотность $\rho_{1,k}$ пиломатериала. Тогда в соответствии с EN 1194:

$$\text{– прочность при растяжении вдоль волокон } f_{t,0,g,k} = 5 + 0,8 f_{t,0,1,k}; \quad (7.12)$$

$$\text{– прочность при растяжении поперек волокон } f_{t,90,g,k} = 0,2 + 0,015 f_{t,0,1,k}; \quad (7.13)$$

$$\text{– прочность при сжатии вдоль волокон } f_{c,0,g,k} = 7,2 (f_{t,0,1,k})^{0,45}; \quad (7.14)$$

$$\text{– прочность при сжатии поперек волокон } f_{c,90,g,k} = 0,7 (f_{t,0,1,k})^{0,5}; \quad (7.15)$$

$$\text{– прочность при изгибе } f_{m,g,k} = 7 + 1,15 f_{t,0,1,k}; \quad (7.16)$$

$$\text{– прочность при скалывании } f_{v,g,k} = 0,32 (f_{t,0,1,k})^{0,8}; \quad (7.17)$$

$$\text{– среднее значение модуля упругости вдоль волокон } E_{0,g,\text{mean}} = 1,05 E_{0,1,\text{mean}}; \quad (7.18)$$

– пятипроцентный квантиль модуля упругости вдоль волокон

$$E_{0,g,05} = 0,85 E_{0,1,\text{mean}}; \quad (7.19)$$

$$\text{– среднее значение модуля упругости вдоль волокон } E_{90,g,\text{mean}} = 0,35 E_{0,1,\text{mean}}; \quad (7.20)$$

$$\text{– среднее значение модуля сдвига } G_{g,\text{mean}} = 0,065 E_{0,1,\text{mean}}; \quad (7.21)$$

$$\text{– плотность } \rho_{g,k} = 1,10 \rho_{1,k}; \quad (7.22)$$

Для комбинированной многослойной клееной древесины Формулы (7.12 – 7.22) применяют к свойствам отдельных частей поперечного сечения. Считают, что зоны слоев различных сортов составляют, по меньшей мере, 1/6 высоты балки или два слоя, выбирая большее значение.

При расчете элементов деревянных конструкций из клееной древесины необходимо учитывать влияние размеров на характеристические значения прочности. Для прямоугольных деревянных клееных элементов, если высота поперечного сечения элемента при изгибе или ширина при растяжении менее 600 мм, характеристические значения $f_{m,k}$ и $f_{t,0,k}$ должны быть умножены на коэффициент k_h . Коэффициент k_h определяется по Формуле (3.2) СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Для особого случая элементов клееной древесины, работающих на изгиб, в которых внутренние слои имеют прочность на растяжение превышающую или равную 0,75 прочности на растяжение внешних слоев, вычисление характеристических значений можно выполнять в соответствии со следующими рекомендациями:

- прочность при изгибе ($f_{m,g,k}$) следует вычислять, используя прочность при растяжении внешних слоев;
- другие свойства прочности ($f_{t,0,g,k}$, $f_{t,90,g,k}$, $f_{c,0,g,k}$, $f_{c,90,g,k}$, $f_{v,g,k}$) следует вычислять, используя прочность при растяжении внутренних слоев;
- модуль упругости вдоль волокон ($E_{0,g,mean}$, $E_{0,g,05}$) следует вычислять, используя модуль упругости при растяжении внешних слоев;
- другие свойства жесткости ($E_{90,g,mean}$, $E_{g,mean}$) следует вычислять, используя модуль упругости при растяжении внутренних слоев;
- плотность ($\rho_{g,k}$) вычисляют, используя плотность внутренних слоев.

Характеристические значения прочностных и упругих свойств цельной и клееной древесины, а также плотности приведены в Таблицах 5.1, 5.3 и 5.4 настоящего пособия.

7.2 Расчетные значения прочностных и упругих характеристик цельной и клееной древесины

При проектировании деревянных конструкций в расчетах предельных состояний несущей способности следует использовать расчетные значения прочностных и упругих характеристик древесины, которые определяются в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.4.1).

Определение расчетных значений прочностных и упругих характеристик для древесины конструкций, как и материалов на ее основе, должно осуществляться с учетом продолжительности действия воздействий и их сочетаний, а также температурно-влажностных условий эксплуатации – классов эксплуатации.

В зависимости от температурно-влажностных условий эксплуатации и влажности материала конструкции, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.3.1.3), все сооружения подразделяются на три класса:

- класс эксплуатации 1: характеризуется содержанием влаги в материалах, соответствующей температуре 20°C и относительной влажности окружающего воздуха исключительно в случаях превышения 65 % в течение нескольких недель в год. В данных

условиях среднее содержание влаги в основном в мягких породах древесины (сосна, ель, тополь) не должно превышать 12 %;

- *класс эксплуатации 2*: характеризуется содержанием влаги в материалах, соответствующей температуре 20°C и относительной влажности окружающего воздуха исключительно в случаях превышения 85 % в течении нескольких недель в год. В данных условиях среднее содержание влаги в основном в мягких породах древесины (сосна, ель, тополь) не должно превышать 20 %;

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

Учет длительности действия воздействий и температурно-влажностных условий эксплуатации при определении расчетных значений прочностных характеристик древесины и материалов на ее основе осуществляется посредством коэффициента модификации k_{mod} . Значения коэффициентов свойств материала γ_m и коэффициентов модификации k_{mod} следует принимать по Таблицам 25 и 26 или национального приложения, при его наличии.

Расчетные значения упругих характеристик для расчетов предельных состояний несущей способности определяются в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (п. 2.4.1 (2)).

Для предельных состояний эксплуатационной пригодности коэффициент k_{mod} не учитывается.

Таблица 25 - Частные коэффициенты свойств материала, γ_m *

Основные комбинации	γ_m
Цельная древесина	1,3
Клеевая 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
случайные комбинации	1,0
Примечание – Приведенные данные могут быть уточнены при накоплении результатов испытаний материалов, выпускаемых предприятиями Республики Казахстан по соответствующим стандартам.	

При определении расчетных значений прочностных характеристик древесины конструкций или материалов на ее основе в обязательном порядке следует учитывать требования Раздела 6.7 настоящего пособия.

Таблица 26 – Значения коэффициента k_{mod} *

Материал	Стандарт	Класс эксплуатации	Класс длительности действия				
			постоянное	длительное	средне-срочное	кратковременное	мгновенное
Цельная древесина	СТ РК 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
Клееная древесина	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	СТ РК EN 14374 СТ РК EN 14279	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
Фанера	EN 636-1 EN 636-1 EN 636-1	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
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
ДСП	EN 312 P4, P5 EN 312 P5 EN 312 P6, P7 EN 312 P7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
ДВП (плотные)	СТ РК EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 или 2 HB.HLA 1 или 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
ДВП (средней плотности)	СТ РК EN 622-3 MBH.LA1 или 2 MBH.HLS1 или 2 MBH.HLS1 или 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80
ДВП, МДФ	СТ РК EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80

* Для материалов, выпускаемых по другим стандартам, значения k_{mod} должны быть определены отдельно.

8 РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

8.1 Расчет центрально-растянутых элементов

Центрально-растянутый элемент - элемент, который подвержен осевому растяжению вдоль центральной оси x - x , совпадающей с направлением волокон древесины (Рисунок 10). К элементам подверженным осевому растяжению можно отнести элементы решетки ферм, элементы связей, растянутые элементы каркасных стен и т.п.

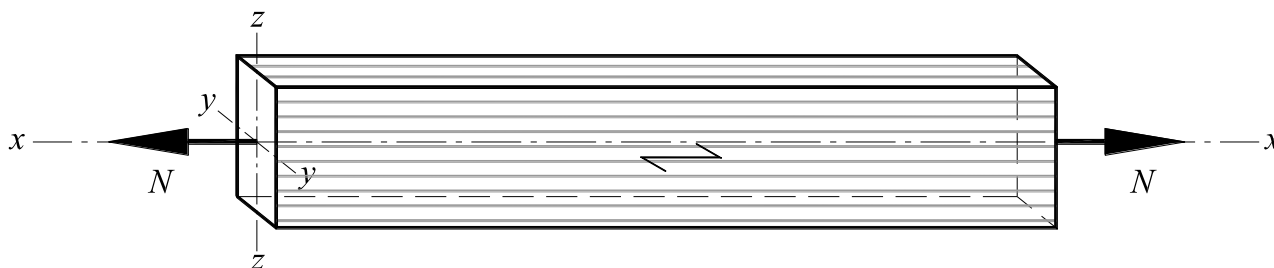


Рисунок 10– Общий вид центрально-растянутого элемента

Растянутый элемент должен быть проверен в самой слабой точке, которой обычно является место соединения. После того, как соединения рассчитаны, элемент должен быть проверен с учетом фактической площади сечения нетто. В соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011(5.2 (3)), эффект уменьшения площади сечения может не учитываться, если в соединении используются гвозди и болты диаметром 6мм и менее без предварительного сверления отверстий. Вместе с тем, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011(5.2 (4)), все отверстия на расстоянии половины минимального размера крепежного элемента, измеряемого вдоль волокон, должны рассматриваться как относящиеся к данному сечению.

В соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 расчетное значение растягивающего напряжения в элементе должно быть меньше, чем расчетное значение прочности при растяжении:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (8.1)$$

где $\sigma_{t,0,d}$ – расчетное растягивающее напряжение вдоль волокон;

$f_{t,0,d}$ – расчетная прочность древесины при растяжении вдоль волокон.

Расчетное растягивающее напряжение $\sigma_{t,0,d}$ определяется по формуле

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{net}}, \quad (8.2)$$

где N_d – расчетное значение осевого усилия;

A_{net} – площадь нетто сечения с учетом ослаблений в соединении.

Если на каждом конце элемента соединения разные, то следует рассмотреть конец с минимальной площадью сечения нетто.

Расчетное значение прочности при растяжении древесины вдоль волокон определяют из выражения

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad (8.3)$$

где k_{mod} и k_{sys} – коэффициенты, которые были определены выше;

k_h – поправочный коэффициент, учитывающий эффект размера элемента при растяжении;

$f_{t,0,k}$ – характеристическое значение прочности при растяжении элемента вдоль волокон из древесины или материала на ее основе.

Для определения значения коэффициента k_h должен быть использован наибольший размер поперечного сечения элемента. Если рассчитывается элемент из LVL, то вместо коэффициента k_h следует принимать коэффициент k_t , который зависит от длины элемента.

Смотри пример 1 Пункта 8.14.3.5.

8.2 Расчет центрально-сжатых элементов

К центрально сжатым элементам относятся такие элементы конструкций в которых сжимающая нагрузка направлена вдоль центральной оси x-x элемента, совпадающей с направлением волокон древесины (см. Рисунок11). Такие элементы используются в качестве колонн, стоек, элементов каркаса в стенах или раскосах стропильных ферм. Прочность элементов подверженных осевому сжатию зависит от нескольких факторов:

- прочности на сжатие и модуля упругости древесины;
- размеров поперечного сечения и длины;
- условий закрепления;
- геометрических несовершенств (отклонений от номинальных размеров, начальной кривизны и т.п.);
- изменений свойств материала и несовершенств (плотность, податливость узлов, влагосодержание).

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 все эти факторы учитываются путем соблюдения соответствующих требований при выполнении расчета элементов.

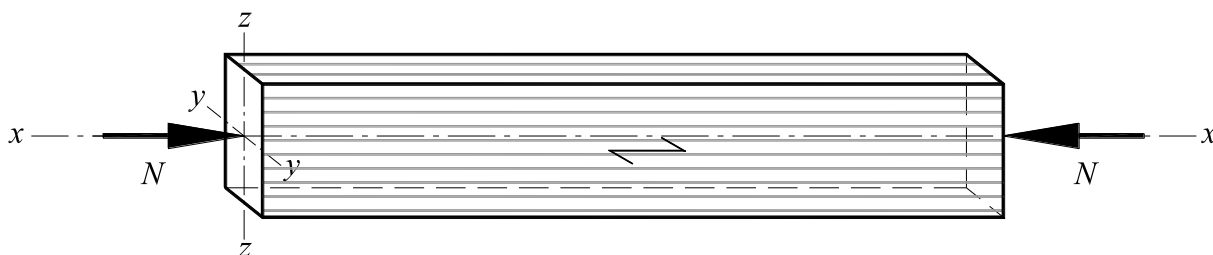


Рисунок11 – Центрально-сжатый элемент

При осевом нагружении, вследствие несовершенства геометрии элемента или изменений его свойств, а также комбинации обоих факторов, величина гибкости λ элемента возрастает и увеличиваются перемещения в поперечном направлении, что в конечном счете приводит к разрушению в результате потери устойчивости, как показано на Рисунке 12.

Гибкость элемента следует определять по формуле

$$\lambda = \frac{L_e}{i} \quad (8.4)$$

где L_e – расчетная длина элемента;

i – радиус инерции относительно оси, который определяется как $i = \sqrt{I/A}$,

I – момент инерции сечения;

A – площадь поперечного сечения элемента.

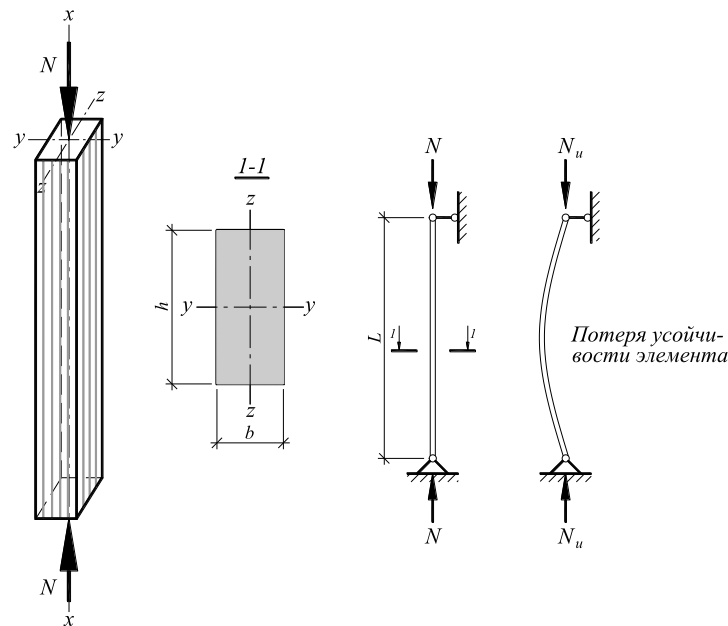


Рисунок 12 – Сжатие элемента

При расчете сжатых элементов необходимо использовать величины гибкости λ_y относительно оси y-y и λ_z относительно оси z-z. В случае, когда поперечное сечение элемента имеет прямоугольную форму, соответствующую гибкость определяют по формулам

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i} = \frac{L_{e,y}}{h/\sqrt{12}} \quad \text{и} \quad \lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i} = \frac{L_{e,z}}{b/\sqrt{12}}, \quad (8.5)$$

где $L_{e,y}$ и $L_{e,z}$ – расчетные длины элемента относительно осей y-y и z-z, соответственно.

Потеря устойчивости элемента произойдет относительно оси с наибольшим значением гибкости.

Расчетная длина L_e элемента определяется из выражения

$$L_e = \mu_0 \times L, \quad (8.6)$$

где L – полная длина элемента;

L_e – расчетная длина элемента, которая зависит от схемы закрепления концов и распределения нагрузки по его длине;

μ_0 – коэффициент, учитывающий условия закрепления элемента, который принимают равным:

1) в случае загрузки продольными силами по концам элемента:

– при шарнирно-закрепленных концах, а также при шарнирном закреплении в промежуточных точках элемента, $\mu_0 = 1$;

– при одном шарнирно-закрепленном и другом защемленном конце – 0,8; при одном защемленном и другом свободном конце, $\mu_0 = 2,2$;

– при обоих защемленных концах, $\mu_0 = 0,65$;

2) в случае распределенной равномерно по длине элемента продольной нагрузки:

– при обоих шарнирно-закрепленных концах, $\mu_0 = 0,73$;

– при одном защемленном и другом свободном конце, $\mu_0 = 1,2$.

Для идеализированного прямого элемента полной длиной L , имеющего однородные свойства и шарнирно закрепленного по обоим концам, критическая сила, при которой произойдет потеря устойчивости относительно оси у-у или z-z в пределах упругой работы материала элемента, может быть определена:

$$P_{E,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05} A}{\lambda_y^2} \text{ или } P_{E,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05} A}{\lambda_z^2}, \quad (8.7)$$

где $P_{E,y}$ – критическая сила относительно оси у-у;

$P_{E,z}$ – критическая сила относительно оси z-z;

$E_{0,05}$ – 5% -ый квантиль модуля упругости материала элемента;

A – площадь поперечного сечения элемента;

λ_y – гибкость относительно оси у-у равная $(1,0 \times L)/i_y$;

λ_z – гибкость относительно оси z-z равная $(1,0 \times L)/i_z$.

Разделив соответствующую критическую силу на площадь поперечного сечения элемента A , получим критическую прочность элемента относительно осей z-z и у-у, соответственно:

$$\sigma_{E,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} \text{ и } \sigma_{E,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} \quad (8.8)$$

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 квадратный корень из отношения величины характеристической прочности на сжатие древесины вдоль волокон $f_{c,0,k}$ к его прочности при изгибе определяется как относительная гибкость λ_{rel} :

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \text{ и } \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}, \quad (8.9)$$

где $\lambda_{rel,y}$ – относительная гибкость, соответствующая изгибу относительно оси у-у (т.е. элемент будет отклоняться по оси z-z, Рисунок 20);

$\lambda_{rel,z}$ – относительная гибкость, соответствующая изгибу относительно оси z-z (т.е. элемент будет отклоняться по оси у-у, Рисунок 20).

Для коротких и массивных элементов с относительной гибкостью $\lambda_{rel,y}$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ расчет следует выполнять по формуле

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}, \quad (8.10)$$

где $\sigma_{c,0,d}$ – расчетное напряжение при сжатии вдоль волокон ;

$f_{c,0,d}$ – расчетная прочность древесины при сжатии вдоль волокон.

Расчетное напряжение при сжатии вдоль волокон определяется по формуле

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}, \quad (8.11)$$

где N_d – расчетная осевая нагрузка;

A – площадь поперечного сечения элемента.

Расчетную прочность при сжатии древесины вдоль волокон следует определять по формуле

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c,0,k}}{\gamma_M}, \quad (8.12)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации, учитывающий длительность нагружения и условия эксплуатации;

k_{sys} – коэффициент, учитывающий характер распределения нагрузки между элементами системы;

γ_M – частный коэффициент свойств материала;

$f_{c,0,k}$ – характеристическая прочность при сжатии древесины вдоль волокон или материала на ее основе.

Для сжатых элементов с относительной гибкостью $\lambda_{rel,y} > 0,3$ и/или $\lambda_{rel,z} > 0,3$ в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 должны выполняться следующие условия

$$\lambda_{\text{rel},y} > 0,3 \frac{\sigma_{\text{c},0,d}}{k_{\text{c},y} \cdot f_{\text{c},0,d}} \leq 1, \quad (8.13)$$

$$\lambda_{\text{rel},z} > 0,3 \frac{\sigma_{\text{c},0,d}}{k_{\text{c},z} \cdot f_{\text{c},0,d}} \leq 1, \quad (8.14)$$

т.е.

$$\sigma_{\text{c},0,d} \leq k_{\text{c},y} \cdot f_{\text{c},0,d}, \quad (8.15)$$

и

$$\sigma_{\text{c},0,d} \leq k_{\text{c},z} \cdot f_{\text{c},0,d}, \quad (8.16)$$

где $\sigma_{\text{c},0,d}$ и $f_{\text{c},0,d}$ – ранее определены в выражениях (8.11 и 8.12);

$k_{\text{c},y}$ и $k_{\text{c},z}$ – коэффициенты продольного изгиба, определяемые из Формул (8.17 и 8.18).

$$k_{\text{c},y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}}, \quad (8.17)$$

$$k_{\text{c},z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}}, \quad (8.18)$$

здесь

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y}^2), \quad (8.19)$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},z}^2), \quad (8.20)$$

где β_c – коэффициент, который для элементов сплошного поперечного сечения, изготовленных из древесины составляет 0,2 при условии, что отклонение от прямолинейности, измеряемое посередине длины элемента, меньше или равно $L/300$. Для элементов из многослойной клееной древесины и LVL коэффициент $\beta_c=0,1$ при условии, что отклонение от прямолинейности, измеряемое посередине длины элемента, меньше или равно $L/500$.

Смотри Пример 2 Пункта 8.14.3.5.

8.3 Расчет площадок элементов, подверженных сжатию под углом α к волокнам

Расчет опорных площадок элементов, подверженных сжатию под углом α к направлению волокон древесины (Рисунок13) должен выполняться в соответствии с требованиями п.6.2.2 СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. В этом случае расчетные напряжения должны удовлетворять следующему условию

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (8.21)$$

где $\sigma_{c,\alpha,d}$ – расчетное напряжение сжатию древесины под углом α к волокнам;
 $f_{c,0,d}$ – расчетная прочность древесины при сжатии вдоль волокон;
 $f_{c,90,d}$ – расчетная прочность древесины при сжатии поперек волокон;
 $k_{c,90}$ – коэффициент, учитывающий характер распределения нагрузки, риск раскалывания и деформации элемента при его сжатии поперек волокон.

Расчетное напряжение $\sigma_{c,\alpha,d}$ от действия сжимающего усилия N_d , действующего под углом α к волокнам древесины, определяется по формуле

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d \cdot \cos \alpha}{b \cdot h} \quad (8.22)$$

где b – ширина поперечного сечения элемента, мм;
 h – высота поперечного сечения элемента, мм.

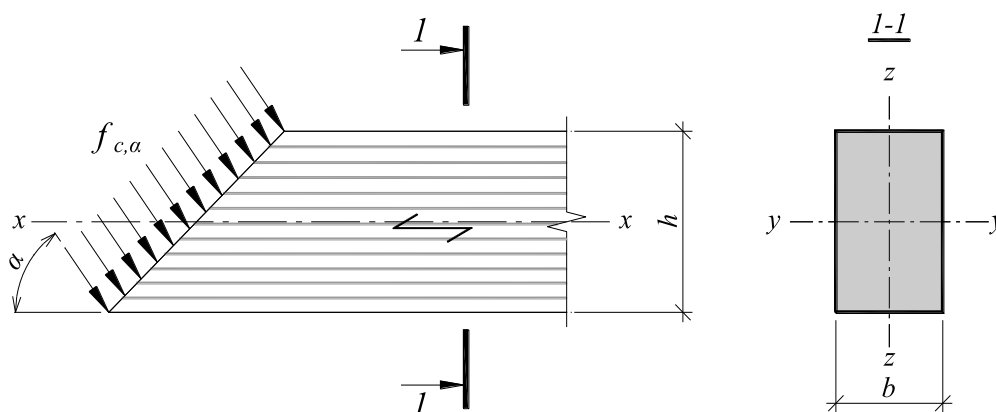


Рисунок 13 – Общий вид элемента, подверженного сжатию под углом α к волокнам

8.4 Расчет опорных площадок элементов, работающих на смятие/сжатие древесины поперек волокон

Опорные площадки балок, ребер плит покрытий и перекрытий, прогонов и т.п. должны проверяться на прочность по смятию/сжатию древесины поперек волокон. При сжатии поперек волокон должно соблюдаться следующее условие:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}, \quad (8.23)$$

где $\sigma_{c,90,d}$ – расчетное напряжение сжатию поперек волокон;
 $k_{c,90}$ – коэффициент, учитывающий характер распределения нагрузки, риск раскалывания и деформации элемента при его сжатии поперек волокон;

$f_{c,90,d}$ – расчетная прочность древесины при сжатии поперек волокон.

Расчетное значение напряжения сжатию поперек волокон определяется из выражения

$$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{ef}, \quad (8.24)$$

где $F_{c,90,d}$ – расчетное сжимающее усилие;

A_{ef} – эффективная площадь контакта перпендикулярно волокнам древесины, равная bl ;

b – ширина площадки контакта;

l – длина площадки контакта;

$f_{c,90,d}$ – расчетная прочность при сжатии древесины поперек волокон, которая определяется как

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

где k_{mod} , k_{sys} , γ_M – частные коэффициенты, которые были описаны выше;

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

Эффективную площадь контакта A_{ef} следует определять с учетом эффективной его длины параллельно волокнам, которая равна фактической длине контакта l , увеличенной на 30 мм в каждую сторону, но не более чем a , l или $l_1/2$ (Рисунок 14, 15).

Для элементов, опирающихся на отдельные опоры при $l_1 \geq 2h$ (Рисунок 22), значение $k_{c,90}$ следует принимать:

$k_{c,90}=1,5$ – для элементов из цельной древесины хвойных пород;

$k_{c,90}=1,75$ – для элементов из клееной древесины хвойных пород при $l \leq 400$ мм,

где l – длина контакта;

h – высота элемента.

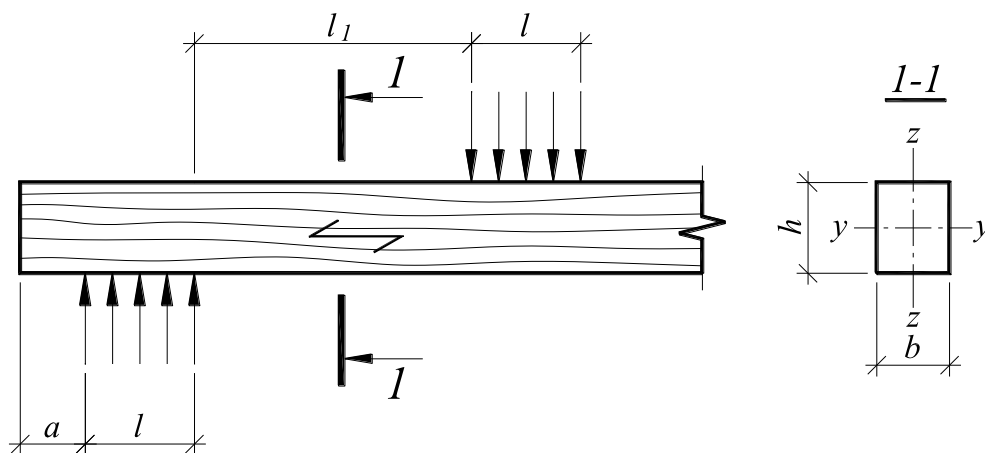


Рисунок 14 – Схема опирания элемента на отдельные опоры

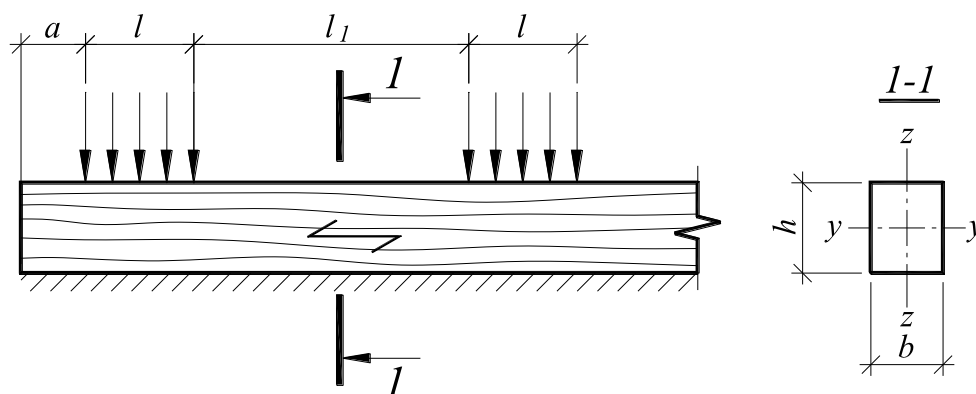


Рисунок 15 – Схема опирания элемента на сплошную опору

Для элементов, опирающихся на сплошную опору при $l_1 \geq 2h$ (Рисунок 23), значение $k_{с,90}$ следует принимать:

$k_{с,90}=1,25$ – для элементов из цельной древесины хвойных пород;

$k_{с,90}=1,5$ – для элементов из клееной древесины хвойных пород.

8.5 Расчет изгибаемых элементов

Расчеты изгибаемых элементов выполняются по предельным состояниям несущей способности USL и предельным состояниям эксплуатационной пригодности (SLS). Для изгибаемых элементов расчет по предельным состояниям несущей способности должен состоять из проверки сохранения статического равновесия (скольжение или отрыв элемента) и проверки условия прочности (при изгибе, сдвиге и смятии), а по предельным состояниям эксплуатационной пригодности – проверки условия перемещений и колебаний.

Небольшое отклонение, а также ограничения на допустимые отклонения от прямолинейного положения изгибаемых элементов, должны соответствовать требованиям, приведенным в Разделе 10 СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 для изгибаемых элементов (балок) напряжение смятия под опорными поверхностями принимается равномерно распределенным. Длина опорной площадки должна быть рассчитана из условия смятия древесины поперек волокон. Расчетный пролет балки принимается равным пролету в свету плюс половина длины опорной площадки на каждом конце. 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. 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.

В случае необходимости учета в расчете особых расчетных ситуаций, должны использоваться сочетания воздействий, приведенные в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011.

Для предельных состояний эксплуатационной пригодности используются сочетания воздействий, описанные в 6.9 настоящего пособия.

При расчете по прочности должны быть рассмотрены все ситуации с учетом коэффициента k_{mod} . В случае, когда сочетание воздействий включает воздействия различных классов по продолжительности, коэффициент k_{mod} , соответствующий воздействию с самой короткой продолжительностью, используемого в сочетании нагружения, относится к показателям прочности в рассматриваемом случае. При рассмотрении состояний равновесия k_{mod} не используется.

Для полного понимания этих требований рассмотрим нижеприведенный пример по определению критических случаев нагружения, приводящих к наибольшим расчетным эффектам в соответствии с предельными состояниями ULS и SLS.

Смотри пример 3 Пункта 8.14.3.5.

Для изгибаемого элемента, обеспеченного от потери устойчивости плоской формы деформирования, т.е. нет никакого уменьшения прочности вследствие потери устойчивости в поперечном направлении, его расчетная прочность будет определяться прочностью материала при изгибе. Потеря устойчивости элемента, изгибаемого относительно оси у-у (Рисунок 16, 17), произойдет тогда, когда его сжатая зона не полностью раскреплена от поперечного смещения и относительная гибкость при изгибе $\lambda_{rel,m}$ по отношению к этой оси больше или равно 0,75.

Для элемента изгибаемого только относительно оси у-у с относительной гибкостью $\lambda_{rel,m}$ относительно этой оси меньше или равно 0,75, должно соблюдаться следующее условие

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1. \quad (8.25)$$

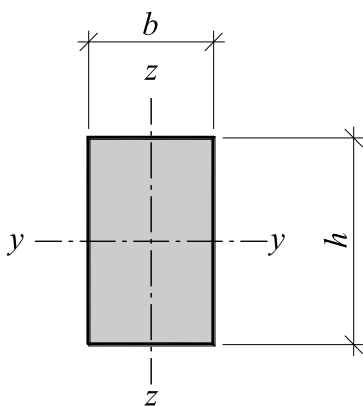


Рисунок 16– Прямоугольное поперечное сечение изгибаемого элемента

Для элемента изгибаемого только относительно оси z-z и обеспечении его устойчивости в поперечном направлении, должно соблюдаться следующее условие

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (8.26)$$

Если элемент подвержен косому изгибу (изгиб относительно обеих осей), а относительная гибкость $\lambda_{rel,m}$ относительно оси у-у меньше или равно 0,75, расчетные условия должны соответствовать формулам:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.27)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.28)$$

где $\sigma_{m,y,d}$ и $\sigma_{m,z,d}$ – расчетные напряжения при изгибе относительно главной (у-у) и второстепенной (z-z) осей (Рисунок 16);

k_m – поправочный коэффициент, который учитывает распределение напряжения в элементе в пластичной области поведения, а также учитывает эффект изменения свойств материала. Значения данного коэффициента приведены в п. 6.1.6(2) СН РК EN 1995-1-1:2008/2011:

$k_m = 0,7$ – для сплошных деревянных элементов и LVL прямоугольного поперечного сечения, а также клееных слоистых элементов, и $k_m = 1,0$ – для других поперечных сечений.

$k_m = 1,0$ – для других конструкционных материалов на основе древесины и любого поперечного сечения;

$f_{m,y,d}, f_{m,z,d}$ – расчетные прочности при изгибе относительно главной и второстепенной осей.

Для прямоугольного сечения шириной b и высотой h расчетные напряжения при изгибе относительно главной (у-у) и второстепенной (z-z) осей определяются по формулам

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}, \quad (8.29)$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}, \quad (8.30)$$

где $M_{y,d}$ и $M_{z,d}$ – расчетные изгибающие моменты относительно главной (у-у) и второстепенной (z-z) осей;

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

Расчетное значение прочности материала элемента при его изгибе определяется по формуле

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot k_{m,k}}{\gamma_M}, \quad (8.31)$$

где k_{mod} – коэффициент модификации, учитывающий длительность нагружения и класс условий эксплуатации;

k_{sys} – коэффициент, учитывающий характер распределения нагрузки;

k_h – поправочный коэффициент, учитывающий эффект размера элемента. Данный эффект относится только к элементам из цельной и клееной древесины, и LVL. Для расчета с использованием конструкционных материалов на основе древесины $k_h = 1,0$. Учитывая, что данный коэффициент зависит от размера элемента в направлении изгиба, его значение при изгибе относительно оси у-у может отличаться от значения относительно оси z-z;

$f_{m,k}$ – характеристическое значение прочности при изгибе деревянного элемента. Для материалов на основе древесины, принимается характеристическая прочность при изгибе относительно оси изгиба;

γ_M – частный коэффициент свойств материала.

Для сечений с одинаковыми моментами сопротивления относительно осей у-у и z-z (квадратное или круглое) потеря устойчивости в поперечном направлении не произойдет. При использовании круглого сечения момент сопротивления будет равен $(\pi d^3/32)$, где d – диаметр сечения элемента.

Для изгибаемого только относительно главной оси (у-у) элемента с относительной гибкостью $\lambda_{rel,m} > 0,75$ должно соблюдаться следующее условие (расчет на устойчивость плоской формы деформирования)

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}, \quad (8.32)$$

где $\sigma_{m,d}$ – расчетное напряжение при изгибе элемента, определяемое по Формуле (8.29);

$f_{m,d}$ – расчетная прочность материала элемента при изгибе;

k_{crit} – коэффициент, учитывающий понижение прочности при изгибе вследствие поперечного кручения с изгибом.

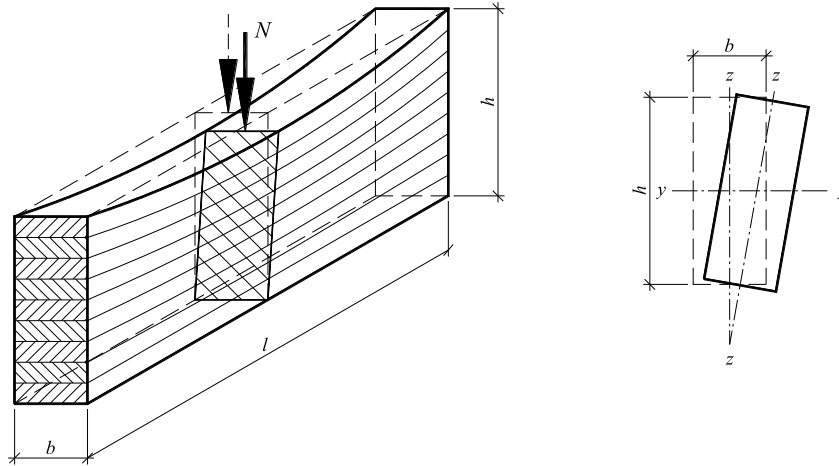


Рисунок 17 – Общий вид потери устойчивости плоской формы деформирования

Если в изгибаемых элементах (балках) могут возникнуть случаи потери устойчивости в поперечном направлении (потеря устойчивости плоской формы деформирования), то максимальные начальные отклонения в середине пролета, допускаемые в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 10), не должны превышать:

- для элементов сплошного поперечного сечения меньше или равно $l/300$;
- для элементов сплошного поперечного сечения из LVL и клееной древесины меньше или равно $l/500$.

Здесь l – длина изгибаемого элемента в мм. При соблюдении данных условий значение коэффициента k_{crit} определяется по формуле

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{– для} & \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{– для} & 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{– для} & 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (8.33)$$

Относительная гибкость изгибаемого элемента определяется по формуле

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}, \quad (8.34)$$

где $\sigma_{m,crit}$ – критическое напряжение при изгибе (прочность при продольном изгибе).

Критическое напряжение при изгибе следует определять по формуле

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y}, \quad (8.35)$$

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 (Рисунок 17);

I_{tor} – момент инерции сечения при кручении;

l_{ef} – эффективная (приведенная) длина пролета изгибаемого элемента, зависящая от условий опирания и конфигурации нагрузки, принимаемая из Таблицы 27;

W_y – момент сопротивления поперечного сечения относительно оси y-y (Рисунок 17);

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

Изгибающий момент $M_{y,\text{crit}}$. $M_{y,\text{crit}}$ зависит от вида нагрузки, прикладываемой к изгибаемому элементу, его длины и условий закрепления, места приложения нагрузки на элемент 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 мягких пород древесины, с учетом эффективной (приведенной) длины, Формула (8.35) может быть записано следующим образом:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{0,78 \cdot b^2}{g \cdot l_{\text{ef}}} E_{0,05}, \quad (8.36)$$

а при расчете элементов прямоугольного сечения, изготовленных из твердых пород древесины, LVL или клееной слоистой древесины, Формула (8.35) может быть записана следующим образом:

$$\sigma_{m,\text{crit}} = \frac{M_{y,\text{crit}}}{W_y} = \frac{\pi \cdot b^2}{h \cdot l_{\text{ef}}} \sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05} \left(1 - 0,63 \cdot \frac{b}{h} \right)}, \quad (8.37)$$

где l_{ef} – приведенная длина элемента, которая в зависимости от условий закрепления и вида нагрузки, принимается из Таблицы 27.

Прочность при изгибе $f_{m,d}$, приведенная в Формуле (8.32), вычисляется с использованием характеристической прочности при изгибе в соответствии с Формулой (8.31). Следовательно, при изгибе относительно оси y-y пониженная прочность может быть записана следующим образом:

$$k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h}{\gamma_M} (k_{\text{crit}} \cdot f_{m,k}). \quad (8.38)$$

Зная приведенную гибкость $\lambda_{\text{rel},m}$, значение произведения k_{crit} на характеристическую прочность при изгибе может быть получено расчетным путем или принято из Таблицы 28, где для разновидностей древесины из мягких пород они определены по данным EN 338.

В Таблице 28 приведены значения произведения k_{crit} на характеристическую прочность при изгибе элементов с приведенной гибкостью $0,75 \leq \lambda_{\text{rel},m} \leq 3$, которая охватывает диапазон, используемый в практических расчетах.

Для уменьшения приведенной гибкости, т.е. повышения поперечной устойчивости изгибаемого элемента (балки) следует применять поперечное раскрепление балки в точках, расположенных вдоль ее длины. Для таких ситуаций приведенная длина будет

равняться расстоянию между соседними точками раскрепления. Если балка в поперечном направлении раскреплена по всей ее длине в сжатой зоне и закреплена по высоте сечения (например, сплошная деревянная распорка), то коэффициент $k_{crit} = 1$. Поперечное раскрепление должно обеспечивать достаточную прочность и гибкость балки.

Таблица 27 – Отношение приведенной длины к расчетному пролету изгибаемого элемента (балки)

Условия закрепления изгибаемого элемента	Вид нагрузки	l_{ef}/l^* - СН РК EN 1995-1-1	l_{ef}/l^* - другие случаи
Свободное опирание	Постоянный момент	1,0	
	Равномерно распределенная нагрузка	0,9	
	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета	0,8	0,96
	Точечные нагрузки на $1/4$ и $3/4$ пролета		0,76
	Момент M на одном конце и $M/2$ в обратном направлении на другом конце		0,53
Полное закрепление на обоих опорах	Момент M на одном конце и его отсутствие на другом		
	Равномерно распределенная нагрузка		0,78
Сосредоточенная нагрузка в середине пролета	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета		0,64
	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета		0,28
Свободное опирание и закрепление от поперечного перемещения при кручении в середине пролета	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета		
	Сосредоточенная нагрузка в середине пролета		
Консоль**	Равномерно распределенная нагрузка	0,5	
	Сосредоточенная нагрузка на свободном конце	0,8	
<p>* 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 $0,5h$.</p> <p>** 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.</p>			

Таблица 28 – Значение произведения k_{crit} на характеристическую прочность при изгибе в зависимости от приведенной гибкости $\lambda_{rel,m}$ для всех классов прочности мягких пород древесины по EN 338

Класс прочности		C14	C16	C18	C20	C22	C24
Характеристическая прочность		14	16	18	20	22	24
Приведенная гибкость, $\lambda_{rel,m}$	Значение, k_{crit}	$k_{crit} \times f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \times f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \times f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \times f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \times f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \times f_{m,k}$ Н/мм ²
$\leq 0,75$	1,0	14	16	18	20	22	24
0,8	0,960	13,440	15,360	17,280	19,200	21,120	23,040
0,85	0,923	12,915	14,760	16,605	18,45	20,295	22,140
0,9	0,885	12,390	14,160	15,930	17,700	19,470	21,240
0,95	0,848	11,865	13,560	15,255	16,950	18,645	20,340
1,0	0,810	11,340	12,960	14,580	16,200	17,820	19,440
1,1	0,735	10,290	11,760	13,230	14,700	16,170	17,640
1,2	0,660	9,240	10,560	11,880	13,200	14,520	15,840
1,3	0,585	8,190	9,360	10,530	11,700	12,870	14,040
1,4	0,510	7,140	8,160	9,180	10,200	11,220	12,240
1,5	0,444	6,222	7,111	8,000	8,889	9,778	10,667
1,6	0,391	5,469	6,250	7,031	7,813	8,594	9,375
1,7	0,346	4,844	5,536	6,228	6,920	7,612	8,304
1,8	0,309	4,321	4,938	5,556	6,173	6,790	7,407
1,9	0,277	3,878	4,432	4,986	5,540	6,094	6,648
2,0	0,250	3,500	4,000	4,500	5,000	5,500	6,000
2,1	0,227	3,175	3,628	4,082	4,535	4,989	5,442
2,2	0,207	2,893	3,306	3,719	4,132	4,545	4,959
2,3	0,189	2,647	3,025	3,403	3,781	4,159	4,537
2,4	0,174	2,431	2,778	3,125	3,472	3,819	4,167
2,5	0,160	2,240	2,560	2,880	3,200	3,520	3,840
2,6	0,148	2,071	2,367	2,663	2,959	3,254	3,550
2,7	0,137	1,920	2,195	2,469	2,743	3,018	3,292
2,8	0,128	1,786	2,041	2,296	2,551	2,806	3,061
2,9	0,119	1,665	1,902	2,140	2,378	2,616	2,854
3,0	0,111	1,556	1,778	2,000	2,222	2,444	2,667
$\leq 0,75$	1,0	C27	C30	C35	C40	C45	C50
0,8	0,960	25,920	28,800	33,600	38,400	43,200	48,000
0,85	0,923	24,908	27,675	32,288	36,900	41,513	46,125
0,9	0,885	23,895	26,550	30,975	35,400	39,825	44,250
0,95	0,848	22,883	25,425	29,663	33,900	38,138	42,375
1,0	0,810	21,870	24,300	28,350	32,400	36,450	40,500
1,1	0,735	19,845	22,050	25,725	29,400	33,075	36,750
1,2	0,660	17,820	19,800	23,100	26,400	29,700	33,000
1,3	0,585	15,795	17,550	20,475	23,400	26,325	29,250
1,4	0,510	13,770	15,300	17,850	20,400	22,950	25,500
1,5	0,444	12,000	13,333	15,556	17,778	20,000	22,222

Таблица 28 (продолжение)

Класс прочности		C14	C16	C18	C20	C22	C24
Характеристическая прочность		14	16	18	20	22	24
Приведенная гибкость, $\lambda_{rel,m}$	Значение, k_{crit}	$k_{crit} \cdot f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \cdot f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \cdot f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \cdot f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \cdot f_{m,k}$ Н/мм ²	$k_{crit} \cdot f_{m,k}$ Н/мм ²
1,6	0,391	10,547	11,719	13,672	15,625	17,578	19,531
1,7	0,346	9,343	10,381	12,111	13,841	15,571	17,301
1,8	0,309	8,333	9,259	10,802	12,346	13,889	15,432
1,9	0,277	7,479	8,310	9,695	11,080	12,465	13,850
2,0	0,250	6,750	7,500	8,750	10,000	11,250	12,500
2,1	0,227	6,122	6,803	7,937	9,070	10,204	11,338
2,2	0,207	5,579	6,198	7,231	8,264	9,298	10,331
2,3	0,189	5,104	5,671	6,616	7,561	8,507	9,452
2,4	0,174	4,688	5,208	6,076	6,944	7,813	8,681
2,5	0,160	4,320	4,800	5,600	6,400	7,200	8,000
2,6	0,148	3,994	4,438	5,178	5,917	6,657	7,396
2,7	0,137	3,704	4,115	4,801	5,487	6,173	6,859
2,8	0,128	3,444	3,827	4,464	5,102	5,740	6,378
2,9	0,119	3,210	3,567	4,162	4,756	5,351	5,945
3,0	0,111	3,000	3,333	3,889	4,444	5,000	5,556

8.6 Расчет изгибаемых элементов на сдвиг

При расчете изгибаемых элементов на сдвиг должно соблюдаться следующее условие

$$\tau_d \leq f_{v,d}, \quad (8.39)$$

где τ_d – расчетные сдвигающие (касательные) напряжения, определяемые из Формулы:

$$\tau_d = \frac{V_d S}{I b_{ef}}, \quad (8.40)$$

$f_{v,d}$ – расчетная прочность при сдвиге (скалывании), определяемая из выражения

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M}, \quad (8.41)$$

Здесь k_{mod} , k_{sys} и γ_M – коэффициенты, определенные в п. 8.5.7 настоящего пособия;

$f_{v,k}$ – характеристическая прочность при сдвиге (скалывании вдоль волокон);

I – момент инерции сечения;

S – статический момент сдвигаемой части сечения относительно нейтральной оси;

V_d – расчетная сдвигающая сила;

b_{ef} – расчетная ширина сечения, равная $b_{ef} = k_{cr} b$,

где b – фактическая ширина элемента;

k_{cr} – поправочный коэффициент, значение которого зависит от материала балки, принимаемый из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 по п. 6.1.7(2).

8.7 Расчет изгибаемых элементов со скосами

Для изгибаемых элементов со скосами, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.5.1(2)), концентрация напряжений может не учитываться, если:

- если угол скоса α , расположенного в растянутой зоне изгибаемого элемента, меньше 1:10, т.е. $\tan \alpha \leq 0,1$ (Рисунок 18 а);
- скос расположен в сжатой зоне изгибаемого элемента (Рисунок 18 б).

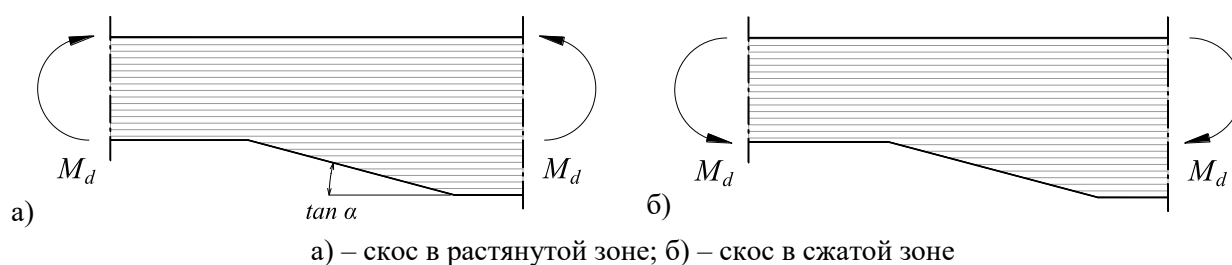


Рисунок 18 – Изгибаемый элемент со скосом

Для изгибаемых элементов прямоугольного сечения $b \times h$ со скосами у опор концентрация напряжений учитывается в следующих случаях:

- если скос выполнен в виде прямоугольной подрезки и расположен в сжатой зоне изгибаемого элемента (Рисунок 19 а), то должно соблюдаться следующее условие:

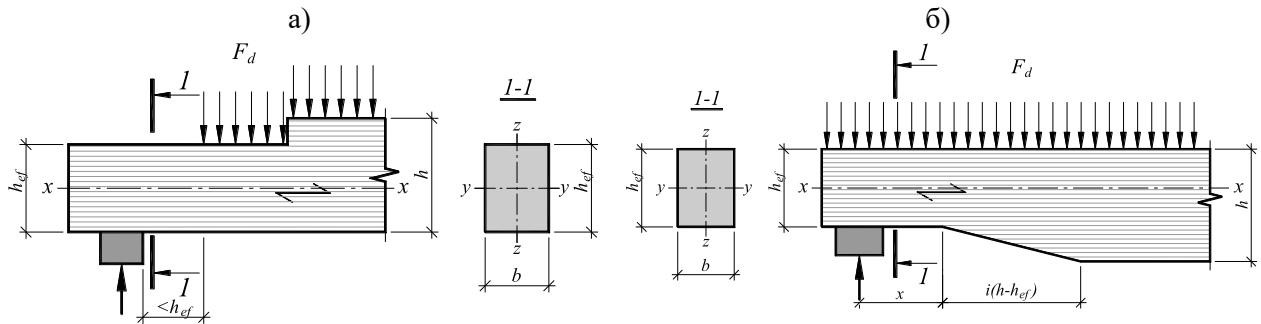
$$\tau_d \leq k_v \cdot f_{v,d}, \quad (8.42)$$

где τ_d определяется по формуле
$$\tau_d = \frac{3V_d}{2bh_{ef}} \quad (8.43)$$

- если скос расположен в растянутой зоне изгибаемого элемента (Рисунок 19 б), то должно соблюдаться следующее условие:

$$\tau_d \leq k_v \cdot f_{v,d}, \quad (8.44)$$

где τ_d определяется по формуле
$$\tau_d = \frac{3V_d}{2bh_{ef}} \quad (8.45)$$



а) – снос в сжатой зоне элемента; б) – снос в растянутой зоне элемента

Рисунок 19 – Изгибаемый элемент с вырезом со скосом у опоры

Для этих, указанных случаев:

$V_d, f_{v,d}$ и b – описаны в п.8.6 настоящего пособия;

k_v – коэффициент, учитывающий эффект наличия скоса (концентрацию напряжений) в изгибаемом элементе. Концентрация напряжений возникает из-за скоса. Значения коэффициента должны быть определены с целью исключения разрушения элемента вследствие развития трещин. Для изгибаемых элементов со скосом, в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.5.2), должны соблюдаться следующие требования:

- если снос находится в сжатой зоне изгибаемого элемента (Рисунок 19 а), то $k_v = 1,0$;
- если снос находится в растянутой зоне изгибаемого элемента (Рисунок 19 б), то k_v равно меньшему значению из:

$$k_v = \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha} \right) - \alpha^2} \right)} \text{ и } k_v = 1, \quad (8.46)$$

где i – уклон спила ($i = 0$ для прямоугольной врезки);

h – высота балки, мм;

x – расстояние от центра действия реакции до начала скоса, мм;

k_n – коэффициент, равный 4,5 для LVL, 5 – для сплошного деревянного элемента и 6,5 – для клееного слоистого деревянного элемента;

α – величина равная отношению h_{ef}/h .

8.8 Расчет элементов, подверженных кручению

При расчете элементов подверженных кручению (Рисунок 20), в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, должно соблюдаться следующее условие

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d}, \quad (8.47)$$

при этом

$$k_{\text{shape}} = \begin{cases} 1,2 & \text{— для круглого поперечного сечения;} \\ \min \left\{ 1 + 0,15 \frac{h}{b}, 2,0 \right\} & \text{— для прямоугольного поперечного сечения,} \end{cases} \quad (8.48)$$

где $\tau_{\text{tor,d}}$ — расчетное напряжение сдвига от кручения;

$f_{\text{v,d}}$ — расчетное значение прочности древесины при сдвиге (скалывании);

k_{shape} — коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения элемента;

h — больший размер прямоугольного поперечного сечения элемента;

b — меньший размер прямоугольного поперечного сечения элемента.

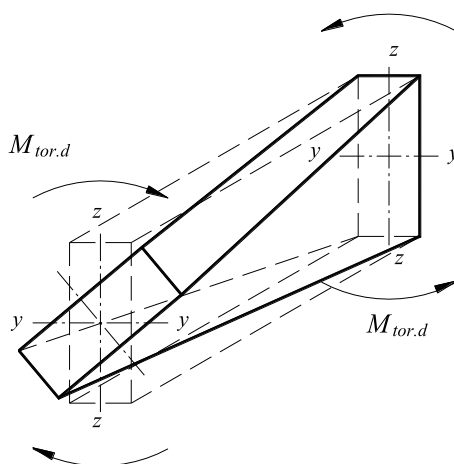


Рисунок 20— Свободное кручение консоли

Расчетная прочность древесины на сдвиг (скалывание) определяется по формуле

$$f_{\text{v,d}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{\text{v,k}}}{\gamma_{\text{M}}}, \quad (8.49)$$

где $f_{\text{v,k}}$ — характеристическое значение прочности древесины при сдвиге (скалывании);

k_{mod} , k_{sys} , γ_{M} — частные коэффициенты, которые были описаны в 8.5.7 настоящего пособия.

Расчетное напряжение сдвига и угол закручивания ϑ на единицу длины элемента от кручения определяется по формулам:

— для элемента круглого поперечного сечения

$$\tau_{\text{tor,d}} = \frac{2M_{\text{tor,d}}}{\pi \cdot r^3}, \quad (8.50)$$

$$\frac{\vartheta}{l} = \frac{2M_{\text{tor,d}}}{\pi \cdot r^4 G}, \quad (8.51)$$

где $M_{\text{tor,d}}$ – расчетный крутящий момент;
 r – радиус поперечного сечения элемента;
 G – модуль сдвига.

– для элемента прямоугольного поперечного сечения

$$\tau_{\text{tor,d}} = \frac{M_{\text{tor,d}}}{k_2 \cdot hb^2}, \quad (8.52)$$

$$\frac{\nu}{l} = \frac{M_{\text{tor,d}}}{k_1 \cdot hb^3 G}, \quad (8.53)$$

где b и h – размеры поперечного сечения элемента, при этом h – наибольший размер;
 $M_{\text{tor,d}}$ – определен в формуле (8.51);
 k_1 и k_2 – константы, которые определяются из Таблицы 28.

Формулы (8.50) – (8.53) справедливы для сплошных сечений и при свободном кручении элемента.

Таблица 28 – Значения коэффициентов k_1 и k_2 для элементов прямоугольного сечения

b/h	k	k_1	$k_2 = k_1/k$
1,0	0,675	0,1406	0,208
1,2	0,759	0,166	0,219
1,3	0,793	0,177	0,223
1,5	0,848	0,196	0,231
1,7	0,888	0,211	0,237
2,0	0,930	0,229	0,246
2,5	0,968	0,249	0,258
3,0	0,985	0,263	0,267
4,0	0,997	0,281	0,282
5,0	0,999	0,291	0,291
6,0	0,9999	0,298	0,298
8,0	1,000	0,307	0,307
10,0	1,000	0,312	0,312
∞	1,000	0,333	0,333

8.9 Расчет элементов, подверженных совместному действию сдвига и кручения

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 не рассматриваются элементы на совместное действие сдвига и кручения, поэтому этот раздел носит рекомендательный характер.

При совместном действии на элемент сдвига и кручения, соответствующие напряжения будут суммироваться, и сечение должно рассчитываться на результирующее условие с максимальными напряжениями сдвига. В этом случае условие прочности элемента может быть представлено в следующем виде:

$$\frac{\tau_{\text{tor,d}}}{k_{\text{shape}} \cdot f_{\text{v,d}}} + \left(\frac{\tau_{\text{v,d}}}{f_{\text{v,d}}} \right)^2 \leq 1, \quad (8.54)$$

где все обозначения были приведены в Формулах (8.46) – (8.50).

8.10 Расчет элементов, подверженных совместному действию изгиба и сжатия

При проверке предельных состояний элементов с учетом устойчивости в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 следует учитывать различия в требованиях по расчету для колонн, подверженных совместному сжатию с изгибом, от требований по проверке прочности балки, подверженной совместному сжатию с изгибом. Вместе с тем, в этих двух расчетах существует много общего. Поэтому ниже будет приведена общая процедура расчета элементов, подверженных совместному сжатию с изгибом, которая применима к любому элементу с ограничениями, приведенными для применения этой процедуры в соответствии с критериями в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Если для сжато-изгибаемых элементов из-за изгиба относительно главной оси у-у потеря устойчивости в поперечном направлении (потеря устойчивости плоской формы деформирования) не произойдет, то в этом случае относительная (приведенная) гибкость при изгибе $\lambda_{\text{rel,m}}$ относительно главной оси будет меньше или равно 0,75. Тогда элементы, подверженные совместному действию осевой и поперечной нагрузок, как показано на Рисунке 21, при эксцентричном сжатии вдоль оси х-х, относятся к этому случаю.

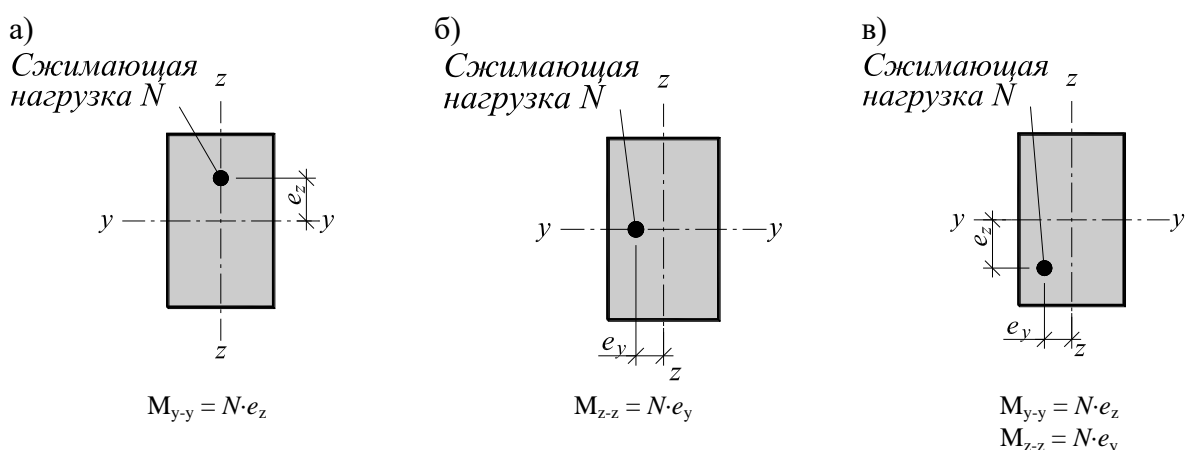


Рисунок 21 – Внецентренное нагружение элемента

Поведение элемента при осевом сжатии приведено в 8.2 настоящего пособия, а при наличии эксцентриситета e_z или e_y , при условии, что потеря устойчивости плоской формы деформирования не произойдет, прочность элемента должна определяться из условий:

– при $\lambda_{\text{rel,y}} \leq 0,3$ и $\lambda_{\text{rel,z}} \leq 0,3$ – прочности элемента на сжатие;

– при $\lambda_{rel,y} > 0,3$ или $\lambda_{rel,z} > 0,3$ – прочности элемента на сжатие, умноженной на соответствующий коэффициент продольного изгиба $k_{c,y}$ или $k_{c,z}$.

Для элементов, подверженных совместному изгибу и осевому сжатию, когда $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ и $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$ расчетные уравнения будут иметь следующий вид:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.55)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.56)$$

где напряжение от изгиба определяется как в 8.5 и, из-за разных значений коэффициентов k_h расчетное значение прочности при изгибе может отличаться по осям у-у и z-z.

Формулы (8.55) и (8.56) не учитывают потерю устойчивости плоской формы деформирования и справедливы только для случаев, когда поперечный изгиб с кручением элемента не может произойти или предотвращен (т.е., когда элементы имеют круглое или квадратное поперечное сечение, или величина приведенной гибкости при изгибе $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$). Если потеря устойчивости плоской формы деформирования может произойти, уравнения справедливы только тогда, когда элемент может быть подвержен только изгибу относительно второстепенной оси (z-z).

Для элементов, подверженных совместному изгибу и осевому сжатию, когда $\lambda_{rel,y}$ и/или $\lambda_{rel,z} > 0,3$ уравнения будут иметь следующий вид:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.57)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.58)$$

Где $\sigma_{c,0,d}$, $\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$, $f_{c,0,d}$, $f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$, k_m , $k_{c,y}$ и $k_{c,z}$ – были приведены выше.

Формулы (8.57) и (8.58) не учитывают потерю устойчивости плоской формы деформирования и они справедливы только для случаев, когда поперечный изгиб с кручением элемента не может произойти или предотвращен (т.е., когда элементы имеют круглое или квадратное поперечное сечение, или величина приведенной гибкости при изгибе $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$). Если потеря устойчивости плоской формы деформирования может произойти, уравнения справедливы только тогда, когда элемент может быть подвержен только изгибу относительно второстепенной оси (z-z).

В случае, когда нагружение элемента происходит вдоль оси и изгибом относительно главной оси у-у, то должно соблюдаться следующее условие (Рисунок 29а):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1, \quad (8.59)$$

где $\sigma_{c,0,d}$, $\sigma_{m,y,d}$, $f_{c,0,d}$, $f_{m,y,d}$, k_m , и $k_{c,z}$ — были приведены выше.

Выражение (8.59) справедливо для случая, когда потеря устойчивости плоской формы деформирования не произойдет, т.е. $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$, при котором $k_{crit} = 1$.

Если приведенная гибкость при изгибе превышает $\lambda_{rel,m} > 0,75$, то критерий прочности по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 будет определяться как в п. 8.10.3 настоящего пособия.

Смотри пример 4 Пункта 8.14.3.5.

Для элемента воспринимающего совместное действие только изгибающего момента M_y относительно главной оси (y-y) и продольной сжимающей силы N_c , напряжения должны удовлетворять следующему условию:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1, \quad (8.60)$$

где $\sigma_{m,d}$ — расчетное напряжение при изгибе относительно главной оси y-y. $\sigma_{m,d} = M_{y,d}/W_y$, здесь $M_{y,d}$ — расчетный изгибающий момент относительно оси y-y, а W_y соответствующий момент сопротивления;

$\sigma_{c,0,d}$ — расчетное напряжение сжатия;

$f_{c,0,d}$ — расчетная прочность при сжатии вдоль волокон;

k_{crit} — коэффициент, который учитывает снижение прочности при поперечном изгибе, определенный в 8.5.8;

$k_{c,z}$ — коэффициент продольного изгиба, определяемый по Формуле (8.18).

8.11 Расчет элементов, подверженных совместному действию изгиба и растяжения

Для элементов подверженных совместному действию изгиба и растяжения должны соблюдаться следующие условия:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.61)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (8.62)$$

где $\sigma_{t,0,d}$, $\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$, $f_{t,0,d}$, $f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$, и k_m , — были приведены выше.

Формулы (8.61) и (8.62) справедливы для случая, когда поперечный изгиб от кручения элемента при деформировании его относительно главной оси у-у, исключается. Когда это не выполняется, и осевое растягивающее напряжение незначительно по своей величине, элементы должны также проверяться на соответствие требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 как для балок, подверженных изгибу, с учетом потери устойчивости плоской формы деформирования.

8.12 Расчет односкатных клееных балок

Односкатные клееные балки – это балки прямоугольного сечения с линейным уклоном от одного конца к другому (Рисунок 22), которые используются в покрытиях зданий и сооружений. Расчет таких балок сводится к проверкам связанным с максимальным сдвигающим напряжением и максимальным нормальным напряжением от изгиба при проверке предельных состояний несущей способности, и прогибов – при проверке предельных состояний эксплуатационной пригодности.

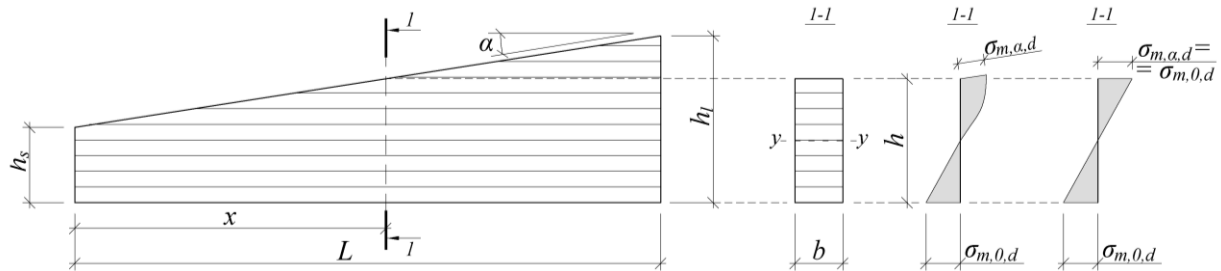


Рисунок 22 – Односкатная клееная балка при изгибе и распределение напряжений в сечении 1-1

При действии на балку равномерно распределенной нагрузки или сосредоточенной нагрузки в середине пролета, расчетное значение напряжения сдвига следует определять из выражения

$$\tau_{v,d} = \frac{1,5V_d}{bh_s}, \quad (8.63)$$

где V_d – сдвигающая расчетная сила на опоре.

Расчетные нормальные напряжения $\sigma_{m,\alpha,d}$ и $\sigma_{m,0,d}$ от изгиба следует определять из выражения

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6M_d}{bh^2}, \quad (8.64)$$

где $\sigma_{m,\alpha,d}$ и $\sigma_{m,0,d}$ – расчетные нормальное напряжение от изгиба (Рисунок 30);
 M_d – расчетный изгибающий момент в сечении, расположенном на расстоянии x от опоры.

Расстояние x до расчетного сечения, где нормальные напряжения достигают максимального значения, при действии равномерно распределенной нагрузки или сосредоточенной нагрузки, приведены в Таблице 30.

Прочность балки считается обеспеченной если выполняются следующие условия

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}, \quad (8.65)$$

$$\sigma_{m,a,d} \leq k_{m,a} f_{m,d}, \quad (8.66)$$

где $f_{v,d}$ – расчетная прочность древесины при сдвиге вдоль волокон;

$f_{m,d}$ – расчетная прочность древесины при изгибе клееного элемента;

$k_{m,a}$ – коэффициент, определяемый из Формулы (8.67).

Значения коэффициента $k_{m,a}$ определяется:

– для растягивающих напряжений, действующих параллельно скатной стороне балки,

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}, \quad (8.67)$$

– для сжимающих напряжений, действующих параллельно скатной стороне балки,

$$k_{m,a} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}}, \quad (8.68)$$

здесь $f_{v,d}$ – расчетная прочность древесины, при сдвиге для клееной балки равна:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{v,g,k}}{\gamma_M}$$

$f_{t,90,d}$ – расчетная прочность клееной древесины при растяжении в клееной балке будет равна:

$$f_{t,90,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{t,90,g,k}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,d}$ – расчетная прочность древесины при сжатии поперек волокон, для клееной балки равна:

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

Таблица 30 – Расстояние x от опоры до расчетного сечения в односкатной шарнирно опертой балке, где нормальные напряжения от изгиба достигают максимального значения

Вид нагрузки	Расстояние от опоры с высотой балки h_s до расчетного сечения	Момент сопротивления в расчетном сечении, W_x	Напряжения от изгиба в расчетном сечении, $\sigma_{m,a,d}$, $\sigma_{m,0,d}$
Равномерно распределенная нагрузка, g_d	$x = L / \left(1 + \frac{h_1}{h_s} \right)$	$W_x = \frac{2b}{3} \left(h_1 / \left(1 + \frac{h_1}{h_s} \right) \right)^2$	$\frac{x g_d (L - x)}{2W_x}$
Сосредоточенная нагрузка, F_d	при $h_1/h_s \leq 3$; $x = L/2$. при $h_1/h_s > 3$; $x = L / \left(\frac{h_1}{h_s} - 1 \right)$	$W_x = b(h_1 + h_s)^2 / 24$ $W_x = \frac{2}{3} b h_s^2$	$0,5 F_d x / W_x$ $0,5 F_d x / W_x$

При выполнении условий (8.65) и (8.66) необходимо проверить соответствующие сжимающие напряжения с учетом потери устойчивости плоской формы деформирования. В этом случае должно соблюдаться следующее условие:

$$\sigma_{m,0,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (8.69)$$

и/или

$$\sigma_{m,a,d} \leq k_{crit} k_{m,a} f_{m,d}$$

где k_{crit} , $k_{m,a}$ и $f_{m,d}$ – были определены выше.

Смотри Пример 5 Пункта 8.14.3.5.

8.13 Расчет двускатных клееных балок, гнуто-клееных и гнуто-клееных балок с прямолинейными скатами

Эти типы балок имеют прямоугольное поперечное сечение и приведены на Рисунке 23. Расчетные проверки для этих балок такие же, как и для односкатных балок, которые были приведены в Разделе 8.12. При проверке предельных состояний несущей способности должны быть проверены максимальное сдвигающее напряжение и максимальное напряжение от изгиба. При проверке предельных состояний эксплуатационной пригодности должен быть определен прогиб. Для балок таких очертаний, в дополнение к расчетным проверкам в скатной области, должно быть проверено напряженное состояние в зоне конька с учетом:

- остаточных напряжений, возникших при изготовлении балок;
- распределения напряжений и объемных эффектов;
- совместного действия сдвигающих напряжений и радиальных растягивающих поперек слоев напряжений, вызванных изгибом.

Напряженная область объема в зоне конька обусловлена действием радиальных напряжений (Рисунок 24) и в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 она называется коньковой зоной. Эта зона должна быть ограничена величиной $2/3 V_b$, где V_b – общий объем балки.

При действии расчетного момента $M_{ap,d}$ в коньке двускатных и гнуто-клееных с прямыми скатами балках, максимальное напряжение от изгиба $\sigma_{m,0,d}$ (Рисунок 32) определяется следующим образом:

$$\sigma_{m,0,d} = k_\ell \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}, \quad (8.70)$$

где b и h_{ap} – ширина и высота поперечного сечения балки в коньке (Рисунок 31);
 k_ℓ – коэффициент, который определяется из следующих выражений:

$$k_\ell = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3, \quad (8.71)$$

$$k_1 = 1 + 1,14 \tan(\alpha_{ap}) + 5,4 \tan^2(\alpha_{ap}), \quad (8.72)$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan(\alpha_{ap}), \quad (8.73)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan(\alpha_{ap}) - 7,8 \tan^2(\alpha_{ap}), \quad (8.74)$$

$$k_4 = 6 \tan^2(\alpha_{ap}), \quad (8.75)$$

$$r = r_{in} + 0,5 h_{ap}, \quad (8.76)$$

здесь r_{in} – внутренний радиус балки (Рисунок 31б и 31 в).

При действии расчетного момента $M_{ap,d}$ в коньке двускатных и гнуто-клееных с прямыми скатами балках максимальное радиальное растягивающее напряжение, действующее поперек волокон древесины $\sigma_{t,90,d}$ (Рисунок 32), определяется следующим образом:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}, \quad (8.77)$$

где b и h_{ap} – ширина и высота поперечного сечения в коньке (Рисунок 32);

k_p – коэффициент, который для двускатных балок принимается равным $0,2 \tan(\alpha_{ap})$, а для гнуто-клееных балок с прямыми скатами определяется следующим образом:

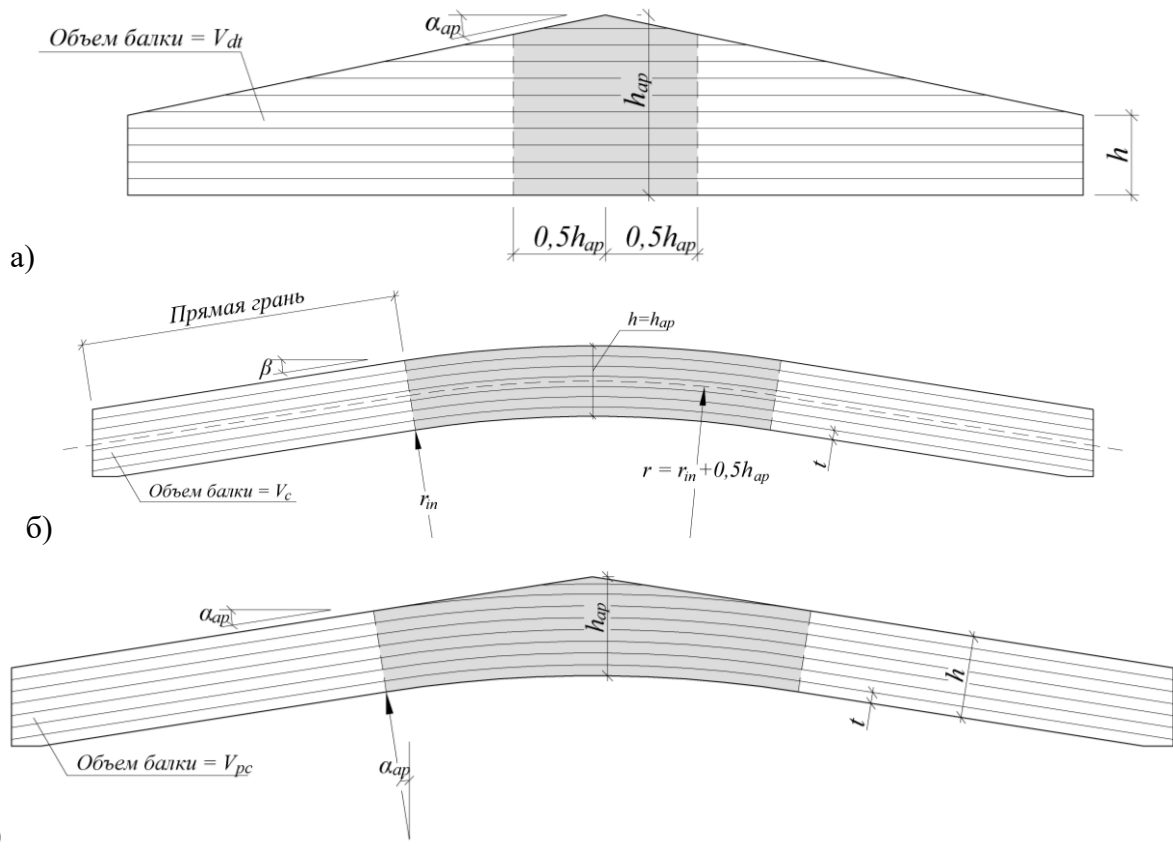
$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2, \quad (8.78)$$

$$k_5 = 0,2 \tan(\alpha_{ap}), \quad (8.79)$$

$$k_6 = 0,25 - 1,3 \tan(\alpha_{ap}) + 2,6 \tan^2(\alpha_{ap}), \quad (8.80)$$

$$k_7 = 2,1 \tan(\alpha_{ap}) - 4 \tan^2(\alpha_{ap}), \quad (8.81)$$

здесь r – внутренний радиус балки, который определяется из Формулы (8.75).



а) – двускатная балка; б) – гнуто-клееная балка; в) – гнуто-клееная с прямолинейными скатами
Рисунок 23 – Коньковые зоны в двускатных, гнуто-клееных и гнуто-клееных с прямолинейными скатами балках

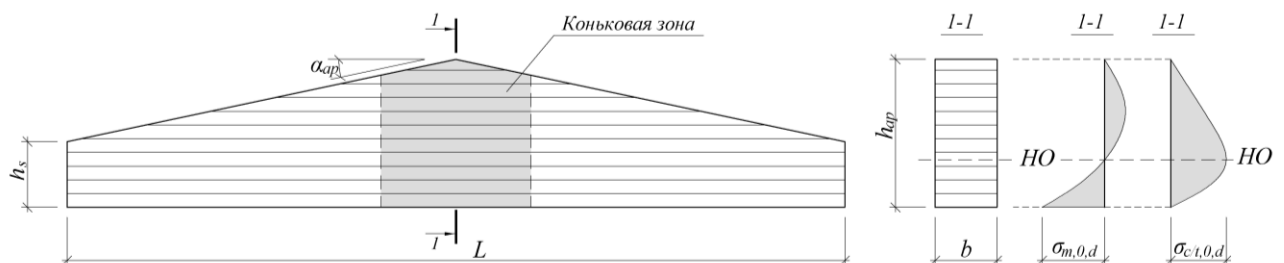


Рисунок 24 – Распределение нормальных и радиальных напряжений в сечении 1 – 1, расположенном в коньке двускатной балки

При действии расчетного момента $M_{ap,d}$ в коньке гнуто-клееных балок, максимальное напряжение от изгиба $\sigma_{m,0,d}$ (Рисунок 25) определяется следующим образом:

$$\sigma_{m,0,d} = k_{curve,b} \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}, \quad (8.82)$$

где

$$k_{curve,b} = 1 + 0,35 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + 0,6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2, \quad (8.83)$$

здесь $r = r_{in} + 0,5h_{ap}$, как задано в Формуле (8.76).

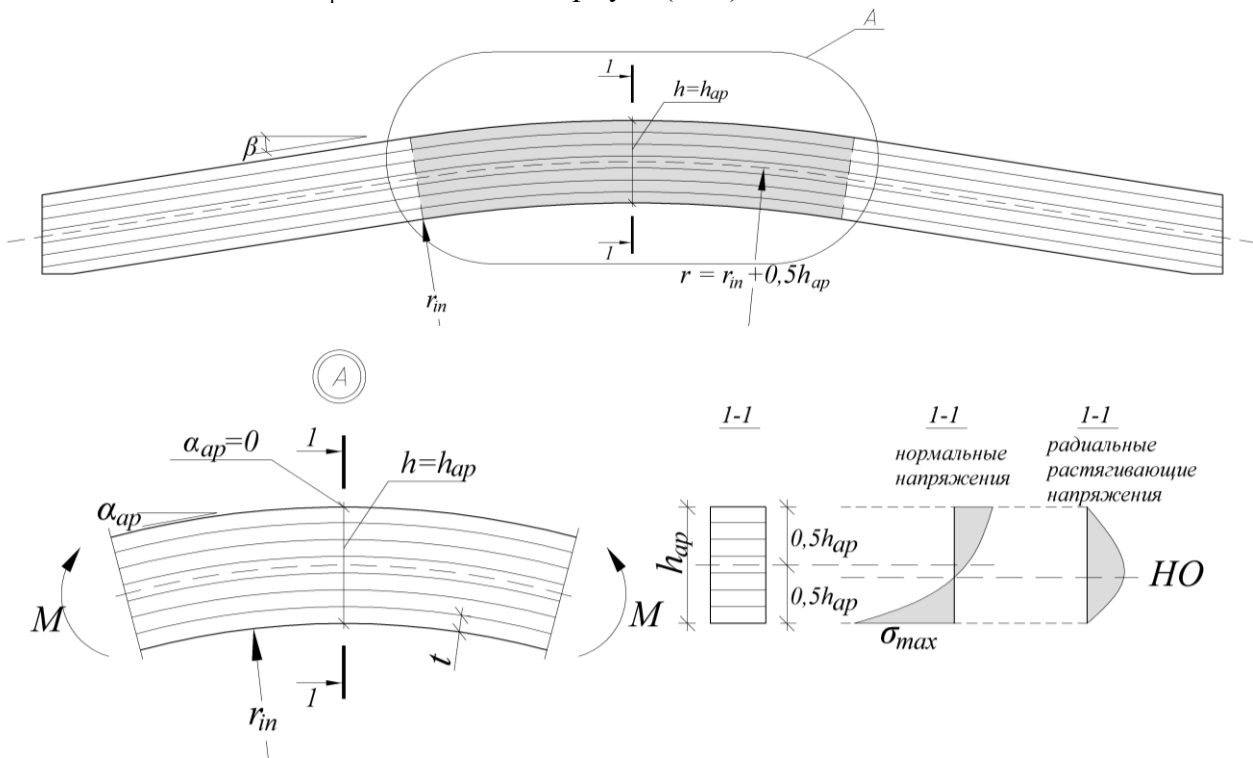


Рисунок 25 – Распределение нормальных и радиальных напряжений в сечении 1 - 1, расположенном в коньке гнуто-клееной балки

При действии расчетного момента $M_{ap,d}$ в коньке гнуто-клееной балки, максимальное радиальное растягивающее напряжение, действующее поперек волокон древесины $\sigma_{t,90,d}$ (Рисунок 25), определяется следующим образом:

$$\sigma_{t,90,d} = k_{curve,t} \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2}, \quad (8.84)$$

где $k_{curve,t} = 0,25(h_{ap}/r)$, а $r = r_{in} + 0,5h_{ap}$.

Расчетное значение прочности клееной древесины гнуто-клееных элементов (в коньковых зонах балок) при их изгибе определяется по формуле

$$f_{r,m,0,d} = k_r \cdot f_{m,0,d}, \quad (8.85)$$

где

$$f_{m,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_h \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_m}; \quad (8.86)$$

k_r – понижающий коэффициент, учитывающий снижение прочности клееной древесины в гнуто-клееных элементах из-за внутренних напряжений, вызванных изгибом слоев при их изготовлении. Данный коэффициент зависит от величины r_{in}/t и может принимать следующие значения:

- при $r_{\text{in}}/t \geq 240$ – $k_r = 1$;
 - при $r_{\text{in}}/t < 240$ – $k_r = 0,76 + 0,001(r_{\text{in}}/t)$;
- здесь r_{in} – внутренний радиус криволинейного участка балки;
 t – толщина слоя (доски).

Расчетное значение прочности $f_{t,90,d}$ клееной древесины в коньковых зонах балок при растяжении поперек волокон, определяется по формуле

$$f_{t,\bar{a},90,d} = k_{\text{dis}} \cdot k_{\text{vol}} \cdot f_{t,90,d}, \quad (8.87)$$

где $f_{t,90,d}$ – определено в выражении (9.67);

k_{dis} – коэффициент распределения напряжения в коньковой зоне, который принимается равным:

- 1,4 – для двускатных и гнуто-клееных балок,
- 1,7 – для гнуто-клееных балок с прямолинейными скатами;

k_{vol} – объемный коэффициент, который для сплошных элементов равен 1, а для клееных элементов (и LVL) равен:

$$k_{\text{vol}} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2},$$

здесь V_0 – базовый объем равен $0,01 \text{ м}^3$;

V – объем в коньковой зоне с максимальным значением $2V_{\text{beam}}/3$, в котором возникают растягивающие поперек волокон напряжения (в м^3). V_{beam} – объем балки.

Объем V коньковой зоны, в котором возникают растягивающие поперек волокон древесины напряжения, можно определить из Таблицы 31.

При проверке прочности балок по нормальным напряжениям $\sigma_{m,0,d}$, должно выполняться следующее условие

$$\sigma_{m,0,d} \leq k_r \cdot f_{m,0,d}, \quad (9.88)$$

где $\sigma_{m,0,d}$ – расчетное напряжение в коньковой зоне при изгибе, определяемое согласно п. 8.13.1 для двускатных балок и гнуто-клееных балок и п. 8.13.4 – для гнуто-клееных балок с прямолинейными скосами;

$k_r \cdot f_{m,0,d}$ – прочность клееной слоистой древесины при изгибе в коньковой зоне балки, определяемая согласно 8.13.5.

При проверке прочности балок по нормальным растягивающим поперек волокон древесины напряжениям $\sigma_{t,90,d}$, действующих в коньковой зоне, должно выполняться следующее условие

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}, \quad (8.89)$$

где $\sigma_{t,90,d}$ – расчетное растягивающее напряжение в коньковой зоне, определяемое для двускатных балок и гнуто-клееных балок с прямолинейными скатами согласно п. 8.13.2, а для гнуто-клееных балок – п. 8.13.4;

$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$ – расчетная прочность клееной древесины в коньковых зонах балок при растяжении поперек волокон, определяемая согласно п. 8.13.6 настоящего пособия.

Таблица 31 – Объем коньковой зоны, в котором возникает растягивающее напряжение

Тип балки	Объем, в котором возникают растягивающие напряжения**, V	Максимально допустимое значение величины объема, в котором возникают растягивающие напряжения*
Двускатная балка	$b h_{ap}^2 [1 - 0,25 \tan(\alpha_{ap})]$	$\frac{2}{3} V_{dt}$
Гнуто- клееная балка	$\frac{\beta \pi}{180} b (h_{ap}^2 + 2 h_{ap} r_{in})$	$\frac{2}{3} V_c$
Гнуто- клееная балка с прямолинейными скатами	$b \left[\sin(\alpha_{ap}) \cos(\alpha_{ap}) (r_{in} + h_{ap})^2 - r_{in}^2 \frac{a_{ap} \pi}{180} \right]$	$\frac{2}{3} V_{pc}$
<p>* Объем балки показан на Рисунок 31 ** Углы β и α в градусах.</p>		

Расчет двускатных клееных балок, гнуто-клееных и гнуто-клееных балок с прямолинейными скатами при совместном действии сдвига и растяжения поперек волокон.

Если двускатные балки, гнуто-клееные и гнуто-клееные балки с прямолинейными скатами шириной b и высотой h_{ap} в коньковой зоне подвержены совместному действию сдвигающих и растягивающих поперек волокон напряжений, то согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, должно выполняться следующее условие:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1, \quad (8.90)$$

где τ_d – расчетное сдвигающее напряжение в сечении коньковой зоны. Если расчетная поперечная сила в коньке равна Q_d , то расчетное сдвигающее напряжение будет равно $\tau_d = 3Q_d/2bh_{ap}$;

$f_{v,d}$ – расчетная прочность древесины при сдвиге, которая для клееной древесины балки будет равняться $k_{mod} k_{sys} f_{v,g,k}/\gamma_M$;

$\sigma_{t,90,d}$ – расчетное сжимающее напряжение в коньковой зоне балки, для соответствующих типов балок определяется согласно п. 8.13.2 и п. 8.13.4 настоящего пособия;

$k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$ – расчетная прочность клееной древесины в коньковых зонах балок при растяжении поперек волокон, определяемая согласно п. 8.13.6 настоящего пособия.

8.14 Расчет изгибаемых элементов по предельным состояниям эксплуатационной пригодности

Расчет изгибаемых элементов по предельным состояниям эксплуатационной пригодности должен включать проверку требований по прогибам и колебаниям.

При расчете изгибаемых элементов по предельным состояниям эксплуатационной пригодности, частные коэффициенты для нагрузок γ_G и γ_Q , а также частный коэффициент свойств материала γ_M , принимаются равными единице.

8.14.1 Определение прогибов балок

8.14.1.1 При определении прогиба деревянной балки или балки, изготовленной из материалов на основе древесины, при действии нагрузки, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, должны учитываться следующие его составляющие (Рисунок 26):

u_c – предварительный выгиб (строительный подъем), если имеется;

u_{inst} – мгновенный прогиб (прогиб, который возникает непосредственно при приложении расчетной нагрузки);

u_{creep} – прогиб от ползучести материала (прогиб, который возникает с течением времени при действии комбинации нагрузок, приводящих к проявлению эффекта ползучести).

u_{fin} – общий прогиб (комбинация мгновенного прогиба и прогиба из-за ползучести материала);

$u_{net,fin}$ – общий прогиб нетто (прогиб без учета выгиба).

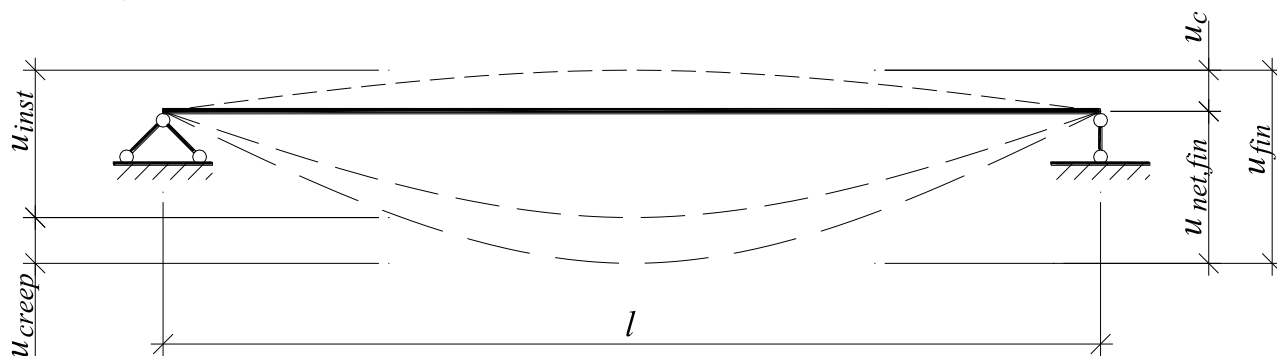


Рисунок 26 – Составляющие прогиба балки

Общий прогиб нетто может быть записан как:

$$u_{net,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_c, \quad (8.91)$$

или

$$u_{\text{net,fin}} = u_{\text{fin}} - u_{\text{с}}. \quad (8.92)$$

Чтобы предотвратить разрушение, возникающее вследствие чрезмерного прогиба, а также учесть функциональные и визуальные требования, прогибы должны соответствовать проекту и согласовываться с заказчиками проекта. Рекомендуемые пределы максимальных значений для прогиба свободно опертой балки и консоли приведены в Таблице 32.

Таблица 32 – Предельные значения прогибов

Документ	Элемент	u_{inst}	u_{fin}	$u_{\text{net,fin}}$
СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 7.2)	Балка на двух опорах	$l/300$ до $l/500$	$l/150$ до $l/300$	$l/250$ до $l/350$
	Консольная балка	$l/150$ до $l/250$	$l/75$ до $l/150$	$l/120$ до $l/175$
Национальное приложение к СН РК EN 1995-1-1:2008/2011				
Элементы покрытия или перекрытия с потолка со штукатуркой или из гипсового картона	Балка на двух опорах			$l/125$
	Консольная балка			$l/125$
Элементы покрытия или перекрытия без потолка со штукатуркой или из гипсового картона	Балка на двух опорах			$l/150$
	Консольная балка			$l/75$
Примечание – l – пролет балки или длина консоли				

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 расчетная нагрузка, используемая для определения прогиба по предельным состояниям эксплуатационной пригодности (SLS), определяется характеристическим сочетанием воздействий.

8.14.1.2 Мгновенный прогиб u_{inst} для элемента сплошного сечения, работающего отдельно от других конструкций, должен рассчитываться с использованием характеристического сочетания воздействий, соответствующего средней величине модуля упругости вдоль волокон $E_{0,\text{mean}}$ и/или среднего значения модуля сдвига G_{mean} . Для деревянных элементов $G_{\text{mean}} = E_{0,\text{mean}}/16$, а для элементов, изготовленных из материалов на основе древесины, эти значения должны определяться по данным на эти материалы.

8.14.1.3 Общий прогиб u_{fin} получают путем суммирования мгновенного прогиба, вычисляемого в соответствии с п. 8.14.1 и прогиба от ползучести. При определении общего прогиба следует руководствоваться положениями Раздела 6.9 настоящего пособия.

Если элемент подвержен изгибу при действии поперечной (сдвигающей) силы, в дополнение к прогибу от изгибающего момента, должен быть определен прогиб от сдвигающей силы.

Прогиб от сдвига может быть выражен в величинах прогиба от изгиба, умноженный

на повышающий коэффициент сдвига. Значения коэффициента для свободно опертой балки прямоугольного сечения шириной b , высотой h и расчетным пролетом l для стандартных случаев нагружения приведены в Таблице 33. Общий прогиб от сдвига и изгиба в балке для принятого случая нагружения, определяется путем умножения прогиба от изгиба на сопутствующий повышающий коэффициент сдвига.

Таблица 33 – Формулы для определения прогиба свободно опертых балок прямоугольного поперечного сечения от изгиба и повышающих коэффициентов при сдвиге

Случай нагружения	Прогиб от изгиба, мм	Повышающий коэффициент при сдвиге
Равномерно распределенная нагрузка по длине свободно опертой балки, равная полной нагрузке Q (кН)	В середине пролета $\frac{5 \cdot Q l^4}{32 \cdot E_{0, \text{mean}} b (h)^3}$	$\left[1 + 0,96 \left(\frac{E_{0, \text{mean}}}{G_{0, \text{mean}}} \right) \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Сосредоточенная нагрузка P (кН) в середине пролета свободно опертой балки	В середине пролета $\frac{P}{4 \cdot E_{0, \text{mean}} b} \cdot \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 1,2 \left(\frac{E_{0, \text{mean}}}{G_{0, \text{mean}}} \right) \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Сосредоточенная нагрузка P (кН) на конце консольной балки	В крайней точке консоли $\frac{4 \cdot P}{E_{0, \text{mean}} b} \cdot \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 0,3 \left(\frac{E_{0, \text{mean}}}{G_{0, \text{mean}}} \right) \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Сосредоточенная нагрузка P (кН) на $1/4$ и $3/4$ пролета свободно опертой балки	В середине пролета $\frac{11 \cdot P}{32 \cdot E_{0, \text{mean}} b} \cdot \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 0,873 \left(\frac{E_{0, \text{mean}}}{G_{0, \text{mean}}} \right) \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Сосредоточенная нагрузка P (кН) на $1/4$, $1/2$ и $3/4$ пролета свободно опертой балки	В середине пролета $\frac{19 \cdot P}{32 \cdot E_{0, \text{mean}} b} \cdot \left(\frac{l}{h} \right)^3$	$\left[1 + 1,011 \left(\frac{E_{0, \text{mean}}}{G_{0, \text{mean}}} \right) \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$
Примечание – $E_{0, \text{mean}}$ – средний модуль упругости для материала вдоль волокон, кН/мм ² ; $G_{0, \text{mean}}$ – средний модуль сдвига, кН/мм ² ; b – ширина элемента, мм; h – высота элемента, мм; l – расчетный пролет, мм.		

Смотри Пример 6 Пункта 8.14.3.5.

8.14.2 Расчет прогиба в шарнирно опертых односкатных и двускатных клееных балках

Для определения прогиба в середине пролета шарнирно опертых односкатных и двускатных балок от действия изгибающего момента и сдвигающей силы, подверженных действию сосредоточенной силы в середине пролета или равномерно распределенной нагрузки по длине балки каждого из типов, могут быть рекомендованы выражения, которые приведены в Таблице 34.

Таблица 34 – Формулы для определения прогиба шарнирно опертых однопролетных односкатных и двускатных балок

Вид нагрузки	Прогиб от действия момента	Прогиб от действия поперечной силы
Односкатная балка		
Сосредоточенная нагрузка F_d в середине пролета L $M_d = 0,25F_dL$	$\frac{5M_dL^2k_1}{96E_{0,g,mean}I_{h_s}}$ $k_1 = 19,2\left(\frac{1}{a-1}\right)^3\left(\ln\alpha - 2\left(\frac{a-1}{a+1}\right)\right)$	$\frac{1,2M_dL^2k_{1g}}{96G_{g,mean}A_{h_s}}$ $k_{1g} = \frac{1}{(a-1)}\ln\alpha$
Равномерно распределенная нагрузка, g_d $M_d = (g_dL^2)/8$	$\frac{5M_dL^2k_2}{48E_{0,g,mean}I_{h_s}}$ $k_2 = 19,2\left(\frac{1}{a-1}\right)^4\left(3(a+1)\ln\left(\frac{a+1}{2}\right) - (2a+1)\ln a - \left(\frac{(a-1)^2}{2(a+1)}\right)\right)$	$\frac{1,2M_dL^2k_{2g}}{G_{g,mean}A_{h_s}}$ $k_{2g} = \frac{2(a+1)}{(a-1)^2}\ln\left(\frac{a+1}{2}\right) - \frac{(a+1)^2}{4a}$
Для двускатной балки		
Сосредоточенная нагрузка F_d в середине пролета L $M_d = 0,25F_dL$	$\frac{5M_dL^2k_3}{96E_{0,g,mean}I_{h_s}}$ $k_3 = 38,2\left(\frac{1}{a-1}\right)^3\left(\ln a\left(\frac{a+1}{2}\right) + \frac{4}{(a+1)} - \frac{2}{(a+1)^2} - 1,5\right)$	$\frac{1,2M_dL^2k_{3g}}{G_{g,mean}A_{h_s}}$ $k_{3g} = \frac{2}{(a-1)}\ln\left(\frac{a+1}{2}\right)$
Равномерно распределенная нагрузка, g_d $M_d = (g_dL^2)/8$	$\frac{5M_dL^2k_4}{48E_{0,g,mean}I_{h_s}}$ $k_4 = 19,2\left(\frac{1}{a-1}\right)^3\left(2\left(\frac{a+2}{a-1}\right)\ln a\left(\frac{a+1}{2}\right) + \frac{3}{(a+1)} - \frac{2}{(a+1)^2} - 4\right)$	$\frac{1,2M_dL^2k_{4g}}{G_{g,mean}A_{h_s}}$ $k_{4g} = \frac{4}{(a-1)}\left(\left(\frac{a+1}{a-1}\right)\ln\left(\frac{a+1}{2}\right) - 1\right)$
<p>$E_{0,g,mean}$ – средний модуль упругости клееного элемента вдоль волокон; $G_{g,mean}$ – средний модуль сдвига клееного элемента; I_{h_s} – момент инерции поперечного сечения клееной балки высотой h_s, т.е. $I_{h_s} = bh_s^3/12$; A_{h_s} – площадь поперечного сечения клееной балки высотой h_s, т.е. $A_s = bh_s$; a – отношение h_l/h_s для односкатных балок и h_{ap}/h_s для двускатных балок.</p>		

8.14.3 Колебания изгибаемых элементов

8.14.3.1 При расчете изгибаемых элементов по предельным состояниям эксплуатационной пригодности необходимо проверить, что воздействия, которым могут подвергаться элементы, а также их составные части или сооружение в целом, не вызывают колебаний, которые негативно влияют на работу сооружения и не создают дискомфорта у людей.

Дискомфорт может быть обусловлен следующим:

- колебаниями, возникающими от работающей машины (механизма);
- колебаниями, возникающими при ходьбе;
- колебаниями, возникающими из-за близости нахождения источника колебаний.

В соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, касающимися расчета деревянных перекрытий, необходимо гарантировать, что их поведение при данном нагружении, вызывающем колебания конструкции, остается в рамках допустимых пределов по SLS.

8.14.3.2 Допустимые уровни непрерывных колебаний в конструкции по отношению к воздействию на человека, возникающие вследствие работы механизмов, могут приниматься на основании ISO 2631. Если колебания от механизма превышают допустимый уровень, то наиболее распространенным способом решения проблемы, является устройство отдельных от конструкции фундаментов под механизм, либо установка виброизоляторов между механизмом и конструкцией. Данные решения должны учитываться при расчете конструкций.

8.14.3.3 При расчете перекрытий жилых зданий должны учитываться колебания, возникающие при ходьбе. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 расчетные требования распространяются исключительно на конструкции перекрытий жилых зданий, имеющих частоту собственных колебаний более 8 Гц, а для перекрытий с частотой собственных колебаний менее 8 Гц, указано на проведение дополнительных исследований.

В жилых зданиях для прямоугольных в плане перекрытий, с собственной частотой более 8 Гц и размерами $l \times b$, свободно опертых по четырем сторонам, выполненным по деревянным балкам пролетом l , значение частоты собственных колебаний f_1 может быть определено из Формулы (8.93):

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_1}{m}}, \quad (8.93)$$

где l – расчетный пролет балок перекрытия, м;

$(EI)_1$ – эквивалентная изгибная жесткость конструкции, поддерживающей перекрытие, относительно оси, перпендикулярной направлению пролета балки, Н м²/м. Если настил перекрытия не рассчитан на совместную работу с балками перекрытия, то $(EI)_1$ должна зависеть только от изгибной жесткости балок перекрытия. Учет настила при определении $(EI)_1$ возможен в случаях, когда он жестко соединен с деревянными балками перекрытия, т.е. соединен на клею и рассчитывался как обшивка плит перекрытия в соответствии СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.1.2);

m – масса на единицу площади, кг/м², которая определяется от постоянных нагрузок.

В жилых зданиях основным типом перекрытий, выполненных из деревянных конструкций, обычно являются балочные перекрытия. При расчете таких перекрытий должны рассматриваться:

- низкочастотные эффекты (эффект от частоты шага при ходьбе);
- высокочастотные эффекты (ударный эффект от пятки при ходьбе).

8.14.3.4 Вынужденные колебания перекрытия от действия частоты шага будут меньше 8Гц, что эквивалентно статическому нагружению. Прогиб в центре перекрытия от действия статической нагрузки в 1кН и приложенной в данной точке, моделирующей эффект от силы, с которой давит нога человека на перекрытие, должен быть не более :

$$a \leq 1,8 \text{ мм} \quad - \text{ при длине пролета } \leq 4000 \text{ мм} \quad (8.94)$$

$$a \leq \frac{16500}{l^{1,1}}, \text{ мм} \quad - \text{ при длине пролета } > 4000 \text{ мм} \quad (8.95)$$

где a – прогиб балки, мм;

l – пролет балки перекрытия, мм.

Прогиб перекрытия a , при действии сосредоточенной нагрузки в середине пролета перекрытия с расчетным пролетом l , может определяться по формуле

$$a = \frac{1000k_{\text{dist}}l_{\text{eq}}^3k_{\text{amp}}}{48(EI)_{\text{joist}}}, \quad (8.96)$$

где k_{dist} – переводит нагрузку 1кН в нагрузку на одну балку;

l_{eq} – эквивалентный пролет балки перекрытия в мм; для свободно опертых балок l_{eq} должен быть принят равным пролету l ; для крайних пролетов неразрезных балок $l_{\text{eq}} = 0,9l$, а для средних пролетов – $l_{\text{eq}} = 0,85l$;

k_{amp} – повышающий коэффициент, учитывающий влияние сдвига на прогиб в случае использования сплошных деревянных и клееных балок, или податливость соединения в случае использования механически связей;

$(EI)_{\text{joist}}$ – изгибная жесткость балки в Н мм², рассчитываемая с использованием среднего значения модуля упругости балки $E_{0,\text{mean}}$.

Значения коэффициента k_{amp} принимаются равными:

1,05 – для свободно опертых сплошных деревянных балок;

1,1 – для неразрезных сплошных деревянных балок;

1,15 – для свободно опертых двутавровых клееных балок с тонкой стенкой;

1,3 – для неразрезных двутавровых клееных балок с тонкой стенкой;

1,3 – для свободно опертых ферм покрытия на механических связях в соединениях;

1,45 – для неразрезных ферм покрытия на механических связях в соединениях.

Значения коэффициента k_{dist} определяются по формуле

$$k_{\text{dist}} = \max \left\{ \left[0,38 - 0,08 \ln \left[\frac{14(EI)_b}{s^4} \right]; 0,30 \right] \right\}, \quad (8.97)$$

где $(EI)_b$ – изгибная погонная жесткость перекрытия, Н мм²/м;
 s – шаг балок, мм.

Примечания

1 Изгибная жесткость вычисляется как $(EI)_b$ с использованием среднего значения модуля упругости настила перекрытия, а неоднородности на концах перекрытия могут быть проигнорированы.

2 Если подшивка из гипсокартона крепится непосредственно к нижней поверхности балок перекрытия, то изгибная жесткость гипсокартонной подшивки может учитываться. Принимается, что модуль упругости гипсокартона $E_{\text{plasterboard}} = 2000$ Н/мм².

8.14.3.5 При действии величины импульсной нагрузки в 1 Н в центре перекрытия, моделирующей контакт пятки человека, максимальное начальное значение вертикального колебания (скорости перемещения) перекрытия v (м/с), должно удовлетворять СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Формула (7.4)):

$$v \leq b^{(f_1 \cdot \zeta - 1)}, \quad (8.98)$$

где v – величина импульсной скорости в м/(Н с²), т.е. предельное значение скорости колебания (м/с) в вертикальном направлении, вызванной импульсом в 1Н с, моделирующим случай воздействия пятки, действующей на перекрытие, при максимальном перемещении;

b – постоянная величина для контроля значения реакции импульса в зависимости от прогиба a перекрытия, как показано в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Рисунок 7.2). Значение b может быть выражено следующим образом:

$$b = 150 - (30(a - 0,5) / 0,5) = 180 - 60a \quad \text{при } a \leq 1 \text{ мм} \quad (8.99)$$

$$b = 120 - (40(a - 1)) = 160 - 40a \quad \text{при } a > 1 \text{ мм} \quad (8.100)$$

здесь a – прогиб в мм, который определяется из Формулы (8.96);

f_1 – частота собственных колебаний перекрытия в Гц, которая определяется из Формулы (8.93);

ζ – модальный декремент затухания колебаний перекрытия, который для перекрытий принимается равным 0,02.

При вычислении фактической величины импульсной скорости конструкции, должны соблюдаться следующие требования СН РК EN 1995-1-1:2008/2011:

– для прямоугольных перекрытий с размерами в плане $b \times l$ и свободно опертых по четырем сторонам, среднее значение v может быть определено из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Формула (7.6)) следующим образом:

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200}, \quad (8.101)$$

где b – ширина перекрытия, м;

l – расчетный пролет перекрытия, м;

m – определяется из выражения (8.93), кг/м²;

n_{40} – номер первой формы колебания с собственной частотой до 40 Гц.

– значение n_{40} определяется из формулы (7.7) СН РК EN 1995-1-1:2008/2011:

$$n_{40} = \left(\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right)^{0.25}, \quad (8.102)$$

где $(EI)_b$ – была определена в Формуле (8.97), здесь единицы измерения для данного выражения в Нм²/м;

$(EI)_l$ – эквивалентная изгибная жесткость перекрытия по направлению пролета балок, как определено в Формуле (8.93), Нм²/м. При этом $(EI)_b < (EI)_l$.

При использовании значения $\zeta = 0,02$, величина импульсной скорости (колебания) не будет влиять на размеры балок используемых в деревянных перекрытиях.

Пример 1

Проверить предельное состояние несущей способности деревянного элемента решетки стропильной фермы, воспринимающего характеристическое постоянное растягивающее осевое усилие $G_k = 12,0$ кН и характеристическое переменное среднесрочное растягивающее осевое воздействие $Q_k = 15,2$ кН. Поперечное сечение деревянного элемента $b \times h = 50 \times 120$ мм. Класс условий эксплуатации фермы – 1. Площадь поперечного сечения нетто на одном из концов элемента составляет 5400 мм², а на втором – 5100 мм². Класс прочности древесины C20 в соответствии с EN 338.

Для решения данной задачи принимаем следующий алгоритм:

1. Геометрические характеристики поперечного сечения элемента:

ширина поперечного сечения $b = 50$ мм;

высота поперечного сечения $h = 120$ мм;

площадь поперечного сечения $A = b \times h = 6000$ мм²;

минимальная площадь нетто поперечного сечения $A_{\text{net}} = 5100$ мм².

2. Определение характеристик материала (древесины).

В соответствии с EN 338 для класса прочности C20 значение характеристической прочности древесины при растяжении вдоль волокон $f_{t,0,k} = 12$ Н/мм².

3. Определение значений частных коэффициентов.

В соответствии с СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 для предельных состояний ULS значения частного коэффициента в случае действия:

постоянного воздействия, $\gamma_G = 1,35$;

переменного воздействия, $\gamma_Q = 1,5$

В соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 2.3) или Таблица 25 настоящего пособия, для древесины значение частного коэффициента свойств материала $\gamma_M = 1,3$.

4. Определение расчетного значения растягивающего усилия в элементе.

Значение расчетного растягивающего усилия от действия постоянного и переменного воздействий определяем на основании сочетаний:

$$N_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k; \quad N_d = 1,35 \times 12,0 + 1,5 \times 15,2 = 39 \text{ кН.}$$

5. Определение значений поправочных коэффициентов.

Значение коэффициента k_{mod} определяем по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1). Самым коротким по времени действия является усилие от среднесрочного воздействия. Тогда для класса эксплуатации 1 и среднесрочном воздействии значение $k_{\text{mod}} = 0,8$.

Значение коэффициента k_h , зависящего от максимального размера поперечного сечения, определяем из выражения

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2} \text{ или } 1.3 \right\}.$$

Для нашего случая максимальная величина $h = 120$ мм. Тогда $k_h = 1,05$.

Значение коэффициента прочности системы в нашем случае не учитывается, т.е. $k_{\text{sys}} = 1$.

6. Проверка прочности центрально-растянутого элемента.

Максимальное расчетное усилие, для предельного состояния ULS, будет соответствовать сочетанию воздействий, состоящему из постоянного и среднесрочного переменного воздействий.

Расчетное значение растягивающего напряжения, действующего вдоль волокон древесины, определяем из выражения

$$\sigma_{\text{a},0,d} = \frac{N_d}{A_{\text{net}}}, \quad \sigma_{\text{t},0,d} = 39000/5100 = 7,65 \text{ Н/мм}^2.$$

Расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон определяем из выражения

$$f_{\text{t},0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{\text{t},0,k}}{\gamma_m}, \quad f_{\text{t},0,d} = (0,8 \times 1,0 \times 1,05 \times 12,0)/1,3 = 7,75 \text{ Н/мм}^2.$$

Так как расчетное значение растягивающего напряжения меньше расчетного значения прочности при растяжении вдоль волокон, поперечное сечение 50×120 мм с классом прочности древесины С20 элемента фермы в предельном состоянии несущей способности соответствует требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Пример 2

Проверить предельное состояние несущей способности шарнирно-закрепленной по концам деревянной колонны длиной 4 м, поперечным сечением 200×220 мм. Класс прочности древесины колонны С20 в соответствии с EN 338. Класс по условиям эксплуатации – 1. Колонна воспринимает характеристическое постоянное сжимающее осевое воздействие 80 кН с учетом собственного веса и характеристическое переменное среднесрочное сжимающее осевое воздействие 100 кН (Рисунок 27).

Для решения данной задачи принимаем следующий алгоритм:

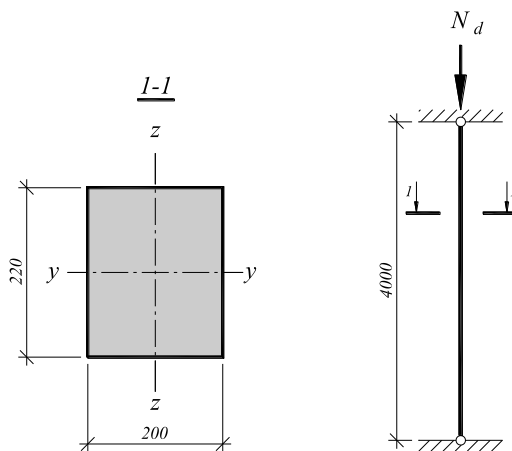


Рисунок 27 – Расчетная схема колонны

1. Геометрические характеристики колонны:

длина колонны $L = 4000$ мм;

расчетная длина колонны относительно оси у-у $L_{E,y} = 1,0 \times L = 4000$ мм;

расчетная длина колонны относительно оси z-z $L_{E,z} = 1,0 \times L = 4000$ мм;

ширина поперечного сечения колонны $b = 200$ мм;

высота поперечного сечения колонны $h = 220$ мм;

площадь поперечного сечения колонны $A = b \times h = 44000$ мм²;

момент инерции сечения относительно оси у-у $I_y = \frac{b h^3}{12} = 1,77 \times 10^8$ мм⁴;

радиус инерции сечения относительно оси у-у $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 63,5$ мм;

гибкость относительно оси у-у, $\lambda_y = \frac{L_{E,y}}{i_y} = 62,98$;

момент инерции сечения относительно оси z-z, $I_z = \frac{h b^3}{12} = 1,46 \times 10^8$ мм⁴;

радиус инерции сечения относительно оси z-z, $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 57,7$ мм;

гибкость относительно оси z-z, $\lambda_z = \frac{L_{E,z}}{i_z} = 69,28$;

2. Определение характеристик материала (древесины).

В соответствии с EN 338 для класса прочности C20 характеристическое значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон, $f_{c,0,k} = 19$ Н/мм²;

значение 5% -го квантиля модуля упругости древесины класса прочности C20 при сжатии вдоль волокон, $E_{0,05} = 6400$ Н/мм².

3. Определение значений частных коэффициентов.

В соответствии с СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 для предельных состояний ULS значения частного коэффициента в случае действия:

постоянного воздействия, $\gamma_G = 1,35$;

переменного воздействия, $\gamma_Q = 1,5$

В соответствии с СН РК EN 1995-1-1 (Таблица 2.3), для древесины значение частного коэффициента свойств материала $\gamma_M = 1,3$.

4. Определение расчетного значения сжимающего усилия в элементе.

Характеристическое значение постоянного сжимающего усилия, $G_k = 80$ кН;

Характеристическое значение среднесрочного переменного сжимающего усилия, $Q_k = 100$ кН;

Значение расчетного сжимающего усилия от действия постоянного и переменного воздействий определяем на основании комбинации:

$$N_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k; \quad N_d = 1,35 \times 80 + 1,5 \times 100 = 258 \text{ кН.}$$

5. Определение значений частных коэффициентов.

Значение коэффициента k_{mod} для среднесрочного воздействия и условий эксплуатации класса 1, определяем по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1). В этом случае $k_{mod} = 0,8$.

Значение коэффициента прочности системы в нашем случае не учитывается, т.е. $k_{sys} = 1$.

6. Проверка прочности колонны от сжатия.

Максимальное расчетное нагружение, из условий ULS, будет соответствовать сочетанию из постоянного и среднесрочного переменного воздействий.

$$\text{Определим расчетное сжимающее напряжение, } \sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 5,86 \text{ Н/мм}^2.$$

Определим расчетное значение прочности древесины при сжатии вдоль волокон,

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 11,7 \text{ Н/мм}^2.$$

Проверим прочность сечения колонны из условия сопротивления продольному изгибу в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1 (5.3.1):

определим относительную гибкость колонны относительно оси у-у

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,09;$$

определим относительную гибкость колонны относительно оси z-z

$$\lambda_{\text{rel},z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1,2.$$

Так как оба значения относительной гибкости больше чем 0,3, то должны соблюдаться условия п. 8.2.4 настоящего пособия. Тогда:

максимальное значение относительной гибкости для колонны, $\lambda_{\text{rel},y} = 1,2$;

коэффициент β_c для древесины в соответствии с выражением (6.28) СН РК EN 1995-1-1 будет равен 0,2.

Определяем коэффициент, $k_z = 0,5(1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel},z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},z}^2) = 1,31$.

Тогда коэффициент продольного изгиба, $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}} = 0,54$.

Определяем расчетную прочность колонны от продольного изгиба, $k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} = 6,4 \text{ Н/мм}^2$.

Определяем величину отношения расчетного значения напряжения к расчетному значению прочности от продольного изгиба колонны, $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = 0,92$.

Расчетное значение напряжения меньше расчетного значения прочности от продольного изгиба, поэтому предельное состояние несущей способности колонны обеспечено.

Пример 3

На однопролетную шарнирно опертую деревянную балку покрытия торгового зала пролетом l , действуют следующие вертикальные нагрузки (Рисунок 28):

– постоянная нагрузка, вызванная собственным весом конструкций покрытия. Характеристическое значение постоянной нагрузки $G_k = 0,6 \text{ кН/м}$;

– переменная среднесрочная нагрузка, вызванная действием снега. Характеристическое значение снеговой нагрузки $Q_{k,1} = 1,6 \text{ кН/м}$;

– мгновенная переменная нагрузка, вызванная отсосом ветра, направленным вверх. Характеристическое значение нагрузки $Q_{k,2} = - 0,5 \text{ кН/м}$.

Класс условий эксплуатации 2.

Определить расчетные значения сочетаний:

- для проверки статического равновесия по группе предельных состояний ULS;
- для проверки прочности по ULS, т.е. проверки прочности балки при изгибе, сдвиге и смятии;
- расчетную комбинацию сочетания по определению мгновенного прогиба балки (SLS).

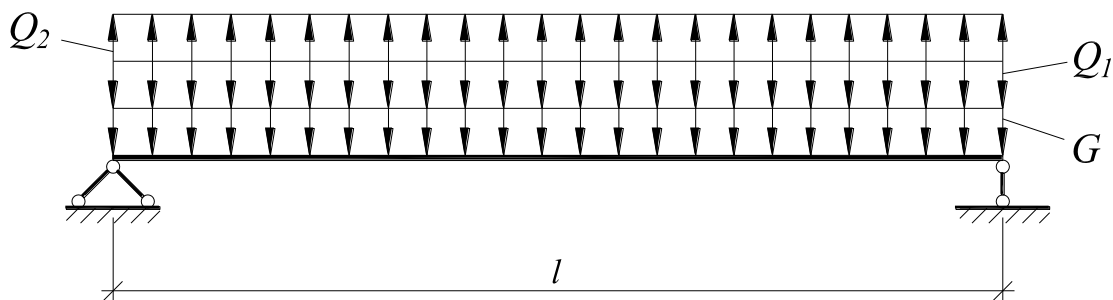


Рисунок 28 – Расчетная схема балки

Решение данной задачи будем выполнять в следующей последовательности:

1. Воздействия на балку.

Постоянное воздействие, вызванное собственным весом конструкций покрытия, G_k .

В данном примере $G_k = 0,6$ кН/м.

Среднесрочное переменное воздействие на балку, вызванное действием снеговой нагрузки, $Q_{k,1}$. В данном примере $Q_{k,1} = 1,6$ кН/м.

Мгновенное переменное воздействие на балку, вызванное действием напора ветра, направленного вверх, $Q_{k,2}$.

В данном примере $Q_{k,2} = -0,5$ кН/м.

2. Определим значения частных коэффициентов.

Значения частных коэффициентов сочетаний ψ для воздействий принимаем из Таблицы А.1.1 НП к СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011. В соответствии с данной таблицей:

- значение коэффициента сочетания для среднесрочного переменного воздействия $Q_{k,1}$, $\psi_{0,1} = 0,7$;
- значение коэффициента для ветрового воздействия $Q_{k,2}$, $\psi_{0,2} = 0,6$.

2.1 Определяем значения частных коэффициентов, используемых для определения расчетных значений воздействий при расчете статического равновесия конструкции (EQU).

Значения частных коэффициентов γ для воздействий принимаем из НП к СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблица А.1.2 (А)). В соответствии с данной таблицей:

- для постоянного благоприятного воздействия, $\gamma_{G,e} = 0,9$;
- для переменного неблагоприятного воздействия, $\gamma_{Q,e,u} = 1,5$;
- для переменного благоприятного воздействия, $\gamma_{Q,e,f} = 0$.

2.2 Определяем значения частных коэффициентов, используемых для определения расчетных значений воздействий при расчете по прочности (STR).

Значения частных коэффициентов γ для воздействий принимаем из НП к СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблицы А.1.2 (В)). В соответствии с данной таблицей:

- для постоянного неблагоприятного воздействия, $\gamma_{G,u} = 1,35$;
- для постоянного благоприятного воздействия, $\gamma_{G,f} = 1,0$;
- для переменного неблагоприятного воздействия, $\gamma_{Q,u} = 1,5$;
- для переменного благоприятного воздействия, $\gamma_{Q,f} = 0$.

2.3 Определяем значения частных коэффициентов для предельных состояний эксплуатационной пригодности. Частные коэффициенты для постоянных и переменных воздействий будут равны 1.

3. Определяем частные коэффициенты k_{mod} .

Значения частных коэффициентов k_{mod} принимаем по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблице 3.1) в зависимости от продолжительности действия нагрузки на балку и класса условий эксплуатации. В нашем примере:

- коэффициент для постоянного воздействия (собственного веса конструкций покрытия) и условий эксплуатации 2, $k_{mod,perm} = 0,6$;
- коэффициент для среднесрочного воздействия (снеговой нагрузки) и условий эксплуатации 2, $k_{mod,perm} = 0,80$;

– коэффициент для мгновенного воздействия (ветровой нагрузки) и условий эксплуатации 2, $k_{\text{mod,perm}} = 1,1$.

4 Определяем критические комбинации для расчетных сочетаний.

4.1 Для условия статического равновесия, расчетные значения воздействий будут равны:

а) расчетные значения воздействий EQU (а).

Критическая комбинация сочетания будет состоять из: постоянное воздействие (благоприятное) G_k + доминирующее переменное воздействие (неблагоприятное) $Q_{k,2}$ + сопутствующее переменное воздействие (благоприятное) $Q_{k,1}$:

$$\text{EQL } 1_d = \gamma_{G,e} G_k - \gamma_{Q,e,u} Q_{k,2} + \gamma_{Q,e,f} \psi_{0,1} Q_{k,1} = 0,9 \times 0,6 - 1,5 \times 0,5 + 0 \times 0,7 \times 1,6 = -0,21 \text{ кН/м.}$$

При данной комбинации воздействий, балка будет отрываться от опор.

б) расчетные значения воздействий STR (б).

Критическая комбинация сочетания будет состоять из: постоянное воздействие (благоприятное) G_k + доминирующее переменное (неблагоприятное) воздействие $Q_{k,2}$ + сопутствующее переменное (благоприятное) воздействие $Q_{k,1}$:

$$\text{EQL } 2_d = \gamma_{G,f} G_k - \gamma_{Q,u} Q_{k,2} + \gamma_{Q,f} \psi_{0,1} Q_{k,1} = 1,0 \times 0,6 - 1,5 \times 0,5 + 0 \times 0,7 \times 1,6 = -0,15 \text{ кН/м.}$$

В данной комбинации воздействий, балка будет отрываться от опор.

Расчетной комбинацией сочетаний при проверке статического равновесия будет EQL 1_d .

Следует также отметить, что несущая конструкция, на которую опирается балка, должна обладать достаточной статической устойчивостью, чтобы сопротивляться реакциям, возникающим в опорах балки т.е., должны быть предусмотрены конструктивные мероприятия по отрыву балки от опор.

4.2 Расчетные значения воздействий для условий прочности.

Расчетной комбинацией сочетания будет такая комбинация, когда сочетание имеет наибольшее значение с учетом деления его на соответствующий k_{mod} . Расчетной комбинацией сочетания, деленной на k_{mod} , будет: (постоянное воздействие (неблагоприятное) G_k + доминирующее переменное (неблагоприятное) воздействие $Q_{k,1}$ + сопутствующее переменное (благоприятное) воздействие $Q_{k,2}$) / k_{mod} :

а) при изгибе балки для проверки прочности на сжатие верхней кромки, сдвиге по нейтральной оси и смятии опорных площадок:

$$\text{STR } 1_d = \frac{\gamma_{G,u} G_k + \gamma_{Q,u} Q_{k,1} - \gamma_{Q,f} \psi_{0,2} Q_{k,2}}{k_{\text{mod,med}}} = \frac{1,35 \times 0,6 + 1,5 \times 1,6 - 0 \times 0,6 \times 0,5}{0,8} = 4,01 \text{ кН/м}$$

Расчетное нагружение (сочетание) будет следующим:

$$\text{DL } 1_d = \gamma_{G,u} G_k + \gamma_{Q,u} Q_{k,1} - \gamma_{Q,f} \psi_{0,2} Q_{k,2} = 3,21 \text{ кН/м}$$

б) при изгибе балки для проверки прочности в нижней ее зоне с учетом устойчивости плоской формы деформирования (при изменении знака напряжения), расчетной комбинацией сочетания будет:

(постоянное воздействие (благоприятное) G_k + доминирующее переменное воздействие $Q_{k,2}$ + сопутствующее переменное (благоприятное) воздействие $Q_{k,1}$) / $k_{\text{mod,inst}}$:

$$\text{STR } 2_d = \frac{\gamma_{G,f} G_k + \gamma_{Q,u} Q_{k,2} - \gamma_{Q,f} \psi_{0,1} Q_{k,1}}{k_{\text{mod,inst}}} = \frac{1,0 \times 0,6 - 1,5 \times 0,5 + 0 \times 0,7 \times 1,6}{1,1} = -0,136 \text{ кН/м}$$

Расчетное нагружение (сочетание) будет следующим:

$$\text{DL } 2_d = \gamma_{G,f} G_k + \gamma_{Q,u} Q_{k,2} - \gamma_{Q,f} \psi_{0,1} Q_{k,1} = -0,15 \text{ кН/м.}$$

В этом случае нагрузка направлена вверх.

4.3 Для условий эксплуатационной пригодности (прогиба балки)

Расчетной комбинацией сочетания воздействий по определению мгновенного прогиба, направленного вниз, будет максимальное значение из четырех комбинаций характеристического сочетания (Уравнение 6.14b в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011). Расчетным условием комбинаций для балки, будет постоянное воздействие + переменное $Q_{k,1}$. Тогда

$$\text{DL } 3_d = G_k + Q_k = 0,6 + 1,6 = 2,2 \text{ кН/м}$$

Пример 4

Проверить деревянную колонну поперечным сечением 150×220 мм, шарнирно закрепленную по концам (Рисунок 29), по предельному состоянию несущей способности (ULS) в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Класс прочности древесины C22, в соответствии с требованиями EN 338. Класс условий эксплуатации – 2. Колонна воспринимает постоянное сжимающее осевое воздействие $G_k = 20$ кН и переменное среднесрочное сжимающее воздействие $Q_k = 25$ кН. Нагрузка на колонну приложена с эксцентриситетом 30 мм от оси у-у и 35 мм от оси z-z, как показано на Рисунке 29. Длина колонны 4000 мм.

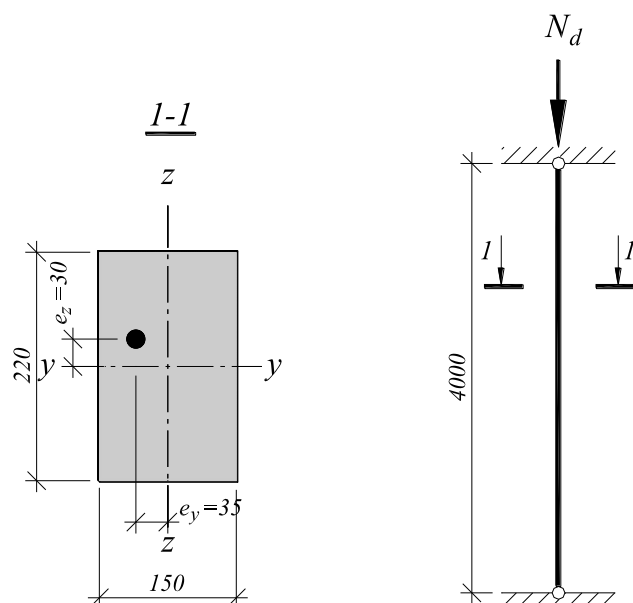


Рисунок 29 – Расчетная схема колонны

При решении данной задачи будем полагать, что значение относительной гибкости, при изгибе колонны относительно оси у-у, не должно превышать 0,75.

Все расчеты по проверке прочности колонны будем выполнять по следующему алгоритму:

1. Геометрические характеристики:

длина колонны, $L = 4000$ мм.

расчетная длина колонны относительно оси у-у $L_{e,y} = 1,0 \cdot L = 4000$ мм;

расчетная длина колонны относительно оси z-z $L_{e,z} = 1,0 \cdot L = 4000$ мм;

ширина поперечного сечения колонны $b = 150$ мм;

высота поперечного сечения колонны $h = 220$ мм;

площадь поперечного сечения колонны $A = b \cdot h = 33000$ мм²;

момент инерции сечения относительно оси у-у, $I_y = \frac{h \cdot b^3}{12} = 1,331 \times 10^8$ мм⁴;

момент сопротивления сечения относительно оси у-у, $W_y = \frac{2I_y}{h} = 1,21 \times 10^6$ мм³;

радиус инерции сечения относительно оси у-у, $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 63,5$ мм;

гибкость относительно оси у-у, $\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i_y} = 62,98$;

момент инерции сечения относительно оси z-z, $I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = 61,875 \times 10^6 \text{ мм}^4$;

момент сопротивления сечения относительно оси z-z, $W_z = \frac{2I_z}{h} = 0,825 \times 10^6 \text{ мм}^3$;

радиус инерции сечения относительно оси z-z, $i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 43,3 \text{ мм}$;

гибкость относительно оси z-z, $\lambda_z = \frac{L_{E,z}}{i_y} = 92,38$.

2. Определяем прочностные и упругие характеристики материала.

Упругие и прочностные характеристики древесины для класса прочности C22 в соответствии с EN 338 (Таблица 1) будут равны:

характеристическая прочность при изгибе относительно оси y-y, $f_{m,y,k} = 22 \text{ Н/мм}^2$;

характеристическая прочность при изгибе относительно оси z-z, $f_{m,z,k} = 22 \text{ Н/мм}^2$;

характеристическая прочность при сжатии вдоль волокон, $f_{c,0,k} = 20 \text{ Н/мм}^2$;

5%-й квантиль модуля упругости вдоль волокон, $E_{0,05} = 6700 \text{ Н/мм}^2$.

3. Определяем значения частных коэффициентов.

Значения частных коэффициентов γ для воздействий принимаем из СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблица A1.2 (B)) для ULS. В соответствии с данной таблицей:

– для постоянного воздействия, $\gamma_G = 1,35$;

– для переменного воздействия, $\gamma_Q = 1,5$.

Значение частного коэффициента свойств материала для древесины, в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 2.3), $\gamma_M = 1,3$.

4. Воздействия на колонну:

– характеристическое постоянное сжимающее воздействие, $G_k = 20 \text{ кН}$;

– характеристическое краткосрочное сжимающее переменное воздействие, $Q_k = 25 \text{ кН}$.

Определяем расчетное сжимающее воздействие для комбинации с максимальным значением (с учетом неблагоприятного воздействия),

$$N_d = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 1,35 \times 20 + 1,5 \times 25 = 64,5 \text{ кН}.$$

Определяем изгибающий момент относительно оси y-y:

эксцентриситет, $e_z = 30 \text{ мм}$;

тогда расчетный изгибающий момент относительно оси y-y, $M_{y,d} = N_d \cdot e_z = 64,5 \times 30 = 1935 \text{ кН мм}$.

Определяем изгибающий момент относительно оси z-z:

эксцентриситет, $e_y = 35 \text{ мм}$;

тогда расчетный изгибающий момент относительно оси z-z, $M_{z,d} = N_d \cdot e_y = 2257,5 \text{ кН мм}$.

5. Определяем значения частных коэффициентов модификации в зависимости от продолжительности действия нагрузки и класса условий эксплуатации.

В соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1):

значение коэффициента для нагрузки средней продолжительности и условий эксплуатации 2, $k_{mod,med} = 0,8$.

Значение коэффициента прочности системы, k_{sys} - не учитывается.

Значение коэффициента, учитывающего высоту сечения – при изгибе относительно оси y-y, определяем из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Формула (3.1)). Тогда при высоте поперечного сечения $h = 220 \text{ мм}$, $k_{1h} = 0,926$, принимаем 1; а для ширины поперечного сечения $b = 150 \text{ мм}$, при изгибе относительно оси z-z – $k_{2h} = 1$.

6. Выполняем проверку прочности колонны.

Максимальное расчетное значение для предельного состояния по несущей способности ULS будет соответствовать комбинации из постоянного и неблагоприятного среднесрочного переменного воздействий.

Определим величины расчетных напряжений от действия изгибающих моментов.

$$\text{Расчетное напряжение от изгиба относительно оси y-y, } \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{1935000}{1210000} = 1,6 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\text{Расчетное напряжение от изгиба относительно оси z-z, } \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{257500}{925000} = 2,76 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Расчетная прочность при изгибе относительно оси y-y, } f_{m,y,d} &= \frac{k_{mod,med} \cdot k_{sys} \cdot k_1 \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_M} = \\ &= \frac{0,8 \times 1 \times 1 \times 22}{1,3} = 13,5 \text{ Н/мм}^2. \end{aligned}$$

$$\text{Расчетная прочность при изгибе относительно оси z-z, } f_{m,z,d} = \frac{k_{mod,med} \cdot k_{sys} \cdot k_2 \cdot f_{m,y,k}}{\gamma_M} = 13,5 \text{ Н/мм}^2.$$

Определим расчетные напряжения от осевого сжатия колонны.

$$\text{Расчетное сжимающее напряжение, } \sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{64500}{33000} = 1,95 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\text{Расчетная прочность при сжатии, } f_{c,0,d} = \frac{k_{mod,med} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{1 \cdot 0,8 \cdot 20}{1,3} = 12,3 \text{ Н/мм}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Определим значение относительной гибкости по отношению к оси y-y, } \lambda_{rel,y} &= \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \\ &= \frac{62,98}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{20}{6700}} = 1,09. \end{aligned}$$

Определим значение относительной гибкости по отношению к оси z-z,

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{92,98}{3,14} \cdot \sqrt{\frac{20}{6700}} = 1,6.$$

Т.к. оба значения относительной гибкости больше чем 0,3, то применимы условия СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.3.2(3)).

Тогда для изгиба относительно оси z-z:

для древесины коэффициент $\beta_c = 0,2$ (Формула (6.29) в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011).

Коэффициент k_z для древесины определяем из выражения (6.28) СН РК EN 1995-1-1:2008/2011

$$k_z = 0,5 \cdot [1 + \beta_n \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,6 - 0,3) + 1,6^2] = 1,91.$$

Коэффициент продольного изгиба относительно оси z-z,

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,91 + \sqrt{1,92^2 - 1,6^2}} = 0,34.$$

Для изгиба относительно оси y-y:

Коэффициент k_y для древесины определяем из Формулы (6.28) СН РК EN 1995-1-1:2008/2011

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_n \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (1,09 - 0,3) + 1,09^2] = 1,17.$$

Коэффициент продольного изгиба относительно оси y-y,

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,63.$$

Для прямоугольного сечения коэффициент перераспределения, $k_m=0,7$.

Общее условие прочности, в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, проверяем на основании следующих выражений:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,95}{0,63 \cdot 12,3} + \frac{1,6}{13,5} + 0,7 \frac{2,76}{13,5} = 0,51;$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{1,95}{0,34 \cdot 12,3} + 0,7 \frac{1,6}{13,5} + \frac{2,76}{13,5} = 0,75.$$

Выражения меньше единицы, поэтому колонна сечением 150×220мм, класса прочности C22, в предельном состоянии по несущей способности соответствует требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Пример 5

Для покрытия спортивного зала запроектировать односкатную балку с расчетным пролетом 9 м из однородной слоистой клееной древесины класса прочности GL32h по EN 1194. Длина опорных площадок балки не должна превышать 160 мм. Уклон балки 1:20 < i < 1:22. По верхней кромке балки закреплены прогоны. Шаг прогонов 1 м. К прогонам крепится двойной косой настил. Прогоны являются раскреплением балки из ее плоскости. Шаг балок 6 м. Класс условий эксплуатации 1. Балка подвержена следующим воздействиям: постоянной вертикальной нагрузке, характеристическое значение которой составляет 2,0 кН/м; кратковременной вертикальной нагрузке, характеристическое значение которой составляет 2,3 кН/м.

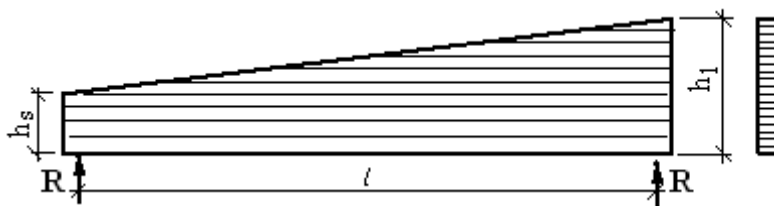


Рисунок 30 – Общий вид проектируемой балки

Для решения данной задачи принимаем следующий алгоритм:

1 Принимаем следующие параметры балки:

расчетный пролет балки $l = 9,0$ м;

ширину балки $b = 150$ мм;

высоту балки на одной опоре $h_s = 320$ мм, а на другой – $h_1 = 750$ мм;

расстояние между прогонами (связями) вдоль скатной поверхности балки $l_c = 1$ м;

длину опорных площадок балки $l_b = 150$ мм;

тангенс угла α скатной поверхности для принятых значений l , h_s и h_1 будет составлять $\tan \alpha = 0,05$.

2 Определяем характеристики однородной клееной слоистой древесины

Все характеристические значения однородной клееной слоистой древесины для класса прочности GL32h принимаем из Таблицы 3 настоящего пособия.

Характеристическая прочность при изгибе $f_{m,g,k} = 32$ Н/мм².

Характеристическая прочность при сдвиге $f_{v,g,k} = 3,8$ Н/мм².

Характеристическая прочность при смятии $f_{c,90,g,k} = 3,3$ Н/мм².

Средний модуль упругости вдоль волокон $E_{0,g,mean} = 13700$ Н/мм².

Модуль упругости вдоль волокон $E_{0,05,g} = 11100$ Н/мм².

Средний модуль сдвига $G_{0,g,mean} = 850$ Н/мм².

Модуль сдвига $G_{0,05,g} = \frac{E_{0,05,g}}{16} = 694$ Н/мм².

Средняя плотность каждой балки (в зависимости от отношения ρ_m/ρ_k в соответствии с EN 338), $\rho_m = 1,2 \times 430 \text{ кг/м}^3 = 516 \text{ кг/м}^3$.

3 Определяем значения частных коэффициентов

Значения частных коэффициентов γ , используемых при определении расчетных значений воздействий предельных состояний ULS, принимаем из Таблицы A1.2(B) в СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011

Постоянные воздействия $\gamma_G = 1,35$.

Переменные воздействия $\gamma_Q = 1,5$.

Коэффициент сочетания практически постоянных воздействий $\psi_2 = 0$.

Значение коэффициента γ_M свойств материала принимаем из Таблицы 25 $\gamma_M = 1,25$.

4 Определяем расчетное значение нагрузки, действующей на балку

Собственный вес балки $G_{k, selfwt} = \left(b \cdot \frac{h_s + h_l}{2} \right) \cdot g \cdot \rho_m = 0,42 \text{ кН/м}$.

Расчетная нагрузка от собственного веса балки $F_{d, selfwt} = \gamma_G \cdot G_{k, selfwt} = 0,53 \text{ кН/м}$.

Характеристическое постоянное воздействие на балку $G_{k,p} = 2 \text{ кН/м}$.

Характеристическое кратковременное воздействие на балку $Q_{k,p} = 2,3 \text{ кН/м}$.

Расчетное значение воздействия от действия постоянной, кратковременной нагрузок и собственного веса для предельных состояний ULS с использованием неблагоприятного сочетания кратковременного воздействия

$$F_{d,p} = \gamma_G G_{k,p} + \gamma_Q Q_{k,p} + \gamma_G G_{k, selfwt} = 6,68 \text{ кН/м}.$$

5 Определяем значения поправочных коэффициентов

Коэффициент модификации для кратковременного воздействия и условий эксплуатации I принимаем из Таблицы 26 $k_{mod, short} = 0,9$.

Коэффициент k_h для максимальной высоты сечения балки $h_l = 750 \text{ мм}$, $k_h = 1$.

Коэффициент $k_{c, 90}$, учитывающий распределение напряжений смятия в опорных зонах балки, принимаем в соответствии с СН РК EN 1995-1-1:2008/2011(6.1.5 (1)), $k_{c, 90} = 1$.

Коэффициент деформаций k_{def} для класса условий эксплуатации 1, принимаем из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2), $k_{def} = 0,6$.

Коэффициент k_{sys} , учитывающий распределения нагрузки, принимаем равным 1.

6 Проверяем прочность балки при ее изгибе

Расчетным случаем для балки будет комбинация, состоящая из собственного веса балки, постоянной и кратковременной нагрузок.

Определяем расстояние x от опоры $h_s = 320 \text{ мм}$ до сечения, где нормальные напряжения, от действия изгибающего момента, достигают максимальной величины. Для этого воспользуемся выражением, приведенным в Таблице 30.

$$x = \frac{l}{1 + \frac{h_l}{h_s}} = 2,69 \text{ м}.$$

Определяем момент сопротивления относительно оси у-у в сечении x

$$W_y = \frac{2}{3} \cdot b \cdot \left(\frac{h_l}{1 + \frac{h_l}{h_s}} \right)^2 = 5,03 \times 10^6 \text{ мм}^3.$$

Расчетная нагрузка на балку, $F_{dp} = 6,68 \text{ кН/м}$.

Определяем расчетное напряжение от изгиба в сечении, расположенном на расстоянии $x = 2,69 \text{ м}$,

$$\sigma_{m, yd} = \frac{F_{dp} \cdot x \cdot (l - x)}{2 \cdot W_y} = 11,26 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем расчетное значение прочности клееной древесины при изгибе,

$$f_{m,g,d} = \frac{k_{mod,short} \cdot k_{sys} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 23,04 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем расчетное значение прочности клееной древесины при сдвиге,

$$f_{v,g,d} = \frac{k_{mod,short} \cdot k_{sys} \cdot f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 2,74 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем расчетное значение прочности клееной древесины при сжатии поперек волокон

$$f_{c,90,g,d} = \frac{k_{mod,short} \cdot k_{sys} \cdot f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = 2,38 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем значение коэффициента $k_{m,\alpha}$, учитывающего уменьшение прочности, в односкатной балке при возникновении напряжений сжатия вдоль поверхности ската

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{1,5 f_{v,g,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,g,d}}{f_{c,90,d}} \tan \alpha \right)^2 \right]^{0,5}} = 0,92.$$

Проверим устойчивость плоской формы деформирования при изгибе односкатной балки в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.3.3).

Высоту балки принимаем равной h_1 .

Расчетную длину балки l_{ef} определяем из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 6.1), $l_{ef} = l_c = 1 \text{ м}$.

Определяем критическое напряжение от изгиба $\sigma_{m,g,crit}$, используя Формулу (8.37)

$$\sigma_{m,g,crit} = \frac{\pi b^2}{h l_{ef}} \sqrt{E_{0,05,g} G_{0,05,g} \left(1 - 0,63 \frac{b}{h_1} \right)} = 253 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем относительную гибкость при изгибе $\lambda_{rel,m}$ из выражения

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,k}}{\sigma_{m,g,crit}}} = 0,34.$$

Согласно Формуле (6.34) в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 коэффициент $k_{crit} = 1$.

Определяем расчетное значение прочности древесины при изгибе с учетом коэффициентов $k_{m,\alpha}$ и

$$k_{crit} \cdot f_{m,y,d} = k_{crit} \cdot k_{m,\alpha} \cdot f_{m,g,d} = 21,2 \text{ Н/мм}^2.$$

Прочность при изгибе клееной балки обеспечена.

7 Проверяем прочность балки от сдвига (скалывания) в опорном сечении

Расчетное значение сдвигающей (поперечной) силы в опорном сечении

$$V_d = \frac{F_{d,p} \cdot l}{2} = 30,06 \text{ кН}.$$

Определяем расчетное значение напряжений сдвига в опорном сечении

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h_s} / k_{kr} = 0,94/0,67 = 1,4 \text{ Н/мм}^2.$$

Расчетное значение прочности клееной древесины при сдвиге, $f_{v,g,d} = 2,74 \text{ Н/мм}^2$.

Прочность балки при сдвиге обеспечена.

8 Проверяем прочность опорных площадок балки

Расчетным случаем при проверке опорных площадок будет комбинация из собственного веса балки плюс постоянная и кратковременная нагрузка.

Расчетное значение опорной реакции $R_d = V_d = 30,06 \text{ кН}$.

Определяем значение расчетного напряжения смятию клееной древесины поперек волокон

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d}{b \cdot l_b} = 1,34 \text{ Н/мм}^2.$$

Расчетная прочность клееной древесины при смятии поперек волокон $f_{c,90,g,d}=2,38 \text{ Н/мм}^2$.

Скорректированное значение прочности клееной древесины при смятии поперек волокон $k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}=2,38 \text{ Н/мм}^2$.

Прочность опорных площадок обеспечена.

9 Определяем прогиб балки

Для предельных состояний эксплуатационной пригодности (SLS), частный коэффициент γ равен 1.

Поскольку балка состоит из материала, имеющего одинаковые характеристики ползучести, то для нахождения мгновенного и длительного прогиба будет использовано среднее значение гибкости. Наибольшее значение мгновенного прогиба для SLS будет соответствовать наибольшему значению изгибающего момента, определяемого из характеристического значения комбинации собственного веса балки плюс постоянная и кратковременная нагрузки.

Прогиб балки от действия изгибающего момента и поперечной силы

Мгновенное значение прогиба u_{inst} , вследствие нагружения балки, определяем из выражений, приведенных в Таблице 31.

а) Прогиб, вследствие изгиба от действия постоянной нагрузки, $u_{inst,b,dl}$:

Определяем значение коэффициента, $\alpha = \frac{h_1}{h_s} = 2,34$.

Определяем величину коэффициента k_2 , используя выражения, приведенные в Таблице 32.

$$k_2 = 19,2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^4 \left(3(a+1) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) - (2a+1) \ln a - \left(\frac{(a-1)^2}{2(a+1)} \right) \right) = 0,24.$$

Определяем изгибающий момент в середине пролета балки

$$M_{d,SLS} = \frac{(G_{k,selfwt} + G_{k,p}) l^2}{8} = 25,7 \text{ кН м.}$$

Определяем мгновенный прогиб $u_{inst,b,dl}$ балки от действия постоянных нагрузок, используя выражения из Таблицы 32

$$u_{inst,b,dl} = \frac{5M_{d,SLS} l^2}{48E_{0,g,mean} \left(\frac{bh_s^3}{12} \right)} k_2 = 9,3 \text{ мм.}$$

б) Прогиб $u_{inst,s,dl}$ балки вследствие сдвига при действии постоянной нагрузки.

Определяем величину k_{2g} , используя выражения, приведенные в Таблице 32.

$$k_{2g} = \frac{2(a+1)}{(a-1)^2} \ln \frac{(a+1)^2}{4a} = 0,65$$

Определяем $u_{inst,s,dl}$ прогиб балки, используя выражения, приведенные в Таблице 32.

$$u_{inst,s,dl} = \frac{1,2M_{d,SLS} k_{2g}}{G_{0,g,mean} bh_s} = 0,5 \text{ мм.}$$

в) Прогиб $u_{inst,b,Q}$ балки, вследствие изгиба при действии временной нагрузки.

$$u_{inst,b,Q} = \frac{Q_{k,p}}{G_{k,selfwt} + G_{k,p}} u_{inst,b,dl} = 8,8 \text{ мм}$$

г) Прогиб $u_{inst,s,Q}$ балки, вследствие сдвига при действии временной нагрузки.

$$u_{inst,s,Q} = \frac{Q_{k,p}}{G_{k,selfwt} + G_{k,p}} u_{inst,s,dl} = 0,48 \text{ мм}$$

Мгновенный прогиб балки в середине пролета.

$$u_{inst} = u_{inst,b,dl} + u_{inst,b,Q} + u_{inst,s,dl} + u_{inst,s,Q} = 19,8 \text{ мм.}$$

Определим предельно допустимую величину мгновенного прогиба балки.

$$w_{inst} = 1/300 = 30 \text{ мм} - \text{это больше чем } 19,8 \text{ мм.}$$

Определим общий прогиб балки от постоянного воздействия.

$$u_{fin,G} = (u_{inst,b,dl} + u_{inst,s,dl})(1 + k_{def}) = 15,68 \text{ мм.}$$

Определим общий прогиб балки от временного и практически постоянного воздействия.

$$u_{fin,Q} = (u_{inst,b,Q} + u_{inst,s,Q})(1 + \Psi_2 k_{def}) = 9,28 \text{ мм.}$$

Общий прогиб балки от постоянного и практически постоянного воздействия.

$$u_{net,fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q} = 24,96 \text{ мм.}$$

Принятое в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 ограничение по прогибу $l/250$.

$$w_{net,fin} = 36 \text{ мм, что больше } u_{net,fin} = 24,96 \text{ мм.}$$

Таким образом, запроектированная нами балка удовлетворяет предельным состояниям несущей способности и предельным состояниям эксплуатационной пригодности.

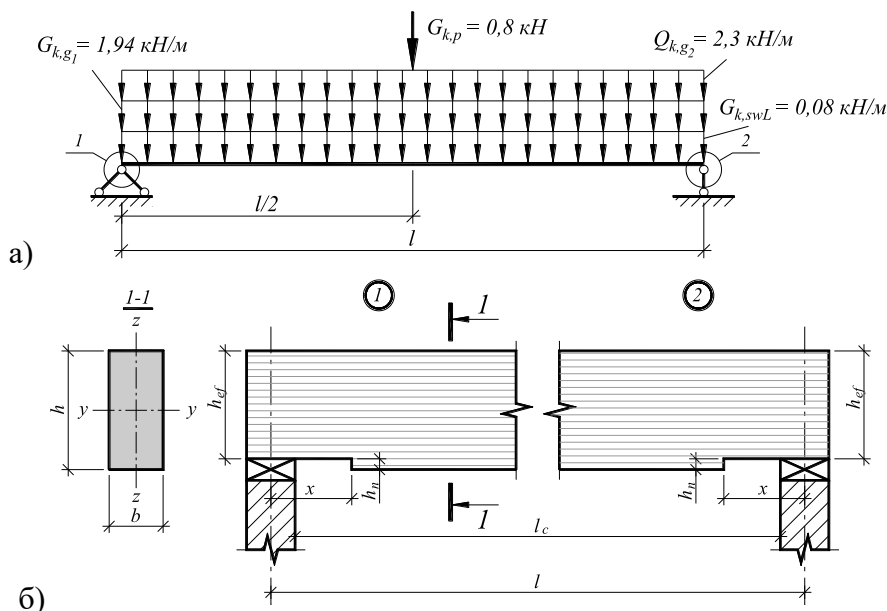
Пример 6

Для покрытия жилого дома запроектировать балку из цельной древесины, свободно опирающуюся на стены. Расстояние между стенами в свету составляет 3,4 м, а по осям стен – 3,6 м. Балка в поперечном направлении по всей длине раскреплена настилом. Балка должна воспринимать следующие нагрузки: постоянную равномерно распределенную нагрузку характеристическим значением $G_{k,g1} = 1,94 \text{ кН/м}$; постоянную равномерно распределенную среднесрочную (снеговую) нагрузку характеристическим значением $Q_{k,g2} = 2,3 \text{ кН/м}$ и сосредоточенную, в середине пролета, нагрузку характеристическим значением $G_{k,p} = 0,8 \text{ кН}$. Высота балки на опоре не должна превышать 200 мм. Длина опирания балки не должна превышать 90 мм. Класс эксплуатации – 1.

Для решения данной задачи принимаем следующий алгоритм:

1. Выбор параметров балки.

Принимаем, что балка изготавливается из цельной древесины, поперечным сечением $100 \times 220 \text{ мм}$. Учитывая, что на опорах балка должна иметь высоту 200 мм, предусматриваем наличие подрезок в опорных зонах глубиной 20 мм (Рисунок 31). Длину подрезки (расстояние от оси стены до вертикальной грани подрезки), принимаем равным 150 мм. Класс прочности древесины балки, в соответствии с требованиями EN 338, принимаем С 22.



а) – расчетная схема балки; б) – схема опорных узлов балки

Рисунок 31 – Общий вид проектируемой балки

2. Геометрические характеристики принятой балки:

ширина балки $b = 100 \text{ мм}$;

высота сечения $h = 220 \text{ мм}$;

пролет балки в свету $l_c = 3,4$ м;
 длина опорных площадок балки $l_b = 90$ мм;
 определяем расчетный пролет балки $l = l_c + l_b = 3,49$ м;
 глубина подрезки балки на каждой опоре $h_n = 20$ мм;
 угол скоса подрезки $i = 0$;
 высота балки на опорах $h_{ef} = h - h_n = 200$ мм;
 отношение $a = h_{ef} / h = 0,91$;
 длина подрезки от оси опоры $x = 150$ мм;
 момент сопротивления сечения балки относительно оси у-у

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = 8,07 \times 10^5 \text{ мм}^3.$$

3. Определяем характеристики материалов

В соответствии с Таблицей 1 настоящего пособия, для древесины класса прочности C22 принимаем:
 характеристическое значение прочности при изгибе $f_{m,k} = 22$ Н/мм²;
 характеристическое значение прочности при сдвиге $f_{v,k} = 2,4$ Н/мм²;
 характеристическое значение прочности при смятии поперек волокон $f_{c,90,k} = 2,4$ Н/мм²;
 5% -ый квантиль модуля упругости вдоль волокон $E_{0,05} = 6700$ Н/мм²;
 значение среднего модуля упругости вдоль волокон $E_{0,mean} = 10000$ Н/мм²;
 значение среднего модуля сдвига $G_{0,mean} = 630$ Н/мм²;
 значение средней плотности древесины балки $\rho_{mean} = 410$ кг/м³.

4. Определяем значения частных коэффициентов

Значения частных коэффициентов γ для воздействий, принимаем из СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблицы A1.2 (B)) для USL. В соответствии с данной таблицей:

- для постоянного воздействия $\gamma_{G,USL} = 1,35$;
- для переменного воздействия $\gamma_{Q,USL} = 1,5$.

Значение частного коэффициента свойств материала для древесины балки, принимаем из СН РК EN 1995-1-1 (Таблица 2.3), $\gamma_M = 1,3$.

Значение коэффициента сочетания для практически постоянного значения переменного воздействия Ψ_2 , принимаем из СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011 (Таблица A1.1). В данном случае $\Psi_2 = 0,3$.

5. Определяем расчетные значения воздействий

Характеристическое значение нагрузки от собственного веса балки будет:

$$G_{k,swL} = b \cdot h \cdot g \cdot \rho_{mean} = 0,008 \text{ кН/м.}$$

Расчетное значение нагрузки от собственного веса балки будет:

$$F_{d,swL} = \gamma_{G,USL} \cdot G_{k,swL} = 0,118 \text{ кН/м.}$$

Расчетное значение постоянного воздействия от сосредоточенной силы $G_{d,p} = 0,8$ кН будет:

$$F_{d,p} = \gamma_{G,USL} \cdot G_{k,p} = 1,08 \text{ кН.}$$

Расчетное значение воздействия от постоянной равномерно распределенной нагрузки $G_{k,g1} = 1,94$ кН/м будет:

$$F_{d,g1} = \gamma_{G,USL} \cdot G_{k,g1} = 2,62 \text{ кН/м.}$$

Расчетное значение воздействия от переменной равномерно распределенной нагрузки $Q_{k,g2} = 2,3$ кН/м будет:

$$F_{d,g2} = \gamma_{Q,USL} \cdot Q_{k,g2} = 3,45 \text{ кН/м.}$$

6. Определяем значения частных коэффициентов $k_{mod,med}$, $k_{h,}$ k_{crit} , k_v , $k_{c,90}$, k_{def} и k_{sys}

Для древесины, значение коэффициента модификации $k_{mod,med}$, в случае среднесрочного воздействия и класса эксплуатации 1, принимаем из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1). В данном случае $k_{mod,med} = 0,8$.

Поскольку высота поперечного сечения балки больше 150 мм, то значение коэффициента $k_h = 1$.

Поскольку балка по всей длине в поперечном направлении раскреплена настилом, то значение коэффициента $k_{crit} = 1$.

Определяем значение коэффициента k_v , учитывающего снижение прочности древесины из-за концентрации напряжений в зоне подрезки, используя Формулу (8.46). Для нашего случая, когда $h = 220$ мм; $a = h_{ef}/h = 0,91$; $x = 150$ мм; $i = 0$ и $k_n = 5 \text{ мм}^{0,5}$, то $k_v = \frac{k_n (1 + 1,1 i^{1,5} / \sqrt{h})}{\sqrt{h} (\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha}\right) - \alpha^2})} = 0,59$.

Значение коэффициента $k_{c,90}$, учитывающего распределение напряжений под опорными площадками, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.1.5 (1)), принимаем равным 1.

Значение коэффициента деформации k_{def} для класса эксплуатации 1, при действии среднесрочного воздействия принимаем из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2). В данном случае $k_{def} = 0,8$.

Коэффициент распределения нагрузки, k_{sys} - не учитывается. Принимаем $k_{sys} = 1$.

7. Проверка прочности балки от действия изгибающего момента.

Предварительно определим расчетное значение сочетания воздействий. Наибольший расчетный эффект будет соответствовать наибольшему значению расчетной нагрузки, разделенной на соответствующий k_{mod} в характеристической комбинации нагружения, которая может быть. Критическим сочетанием нагружения будет комбинация расчетных нагрузок (1)+(2)+(3)+(4).

Определяем величину расчетного изгибающего момента в середине пролета балки.

$$M_d = \frac{F_{d,P} \times l}{4} + \frac{F_{d,swL} \times l^2}{8} + \frac{F_{d,g1} \times l^2}{8} + \frac{F_{d,g2} \times l^2}{8} = 10,35 \text{ кН м}$$

$$\text{Определяем расчетное напряжение } \sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = 12,82 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем расчетное значение прочности древесины при изгибе.

$$f_{m,y,d} = \frac{k_{mod,med} \cdot k_{sys} \cdot k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_m} = 13,54 \text{ Н/мм}^2.$$

Поскольку $\sigma_{m,y,d} < f_{m,y,d}$, то прочность балки, от действия изгибающего момента M_d , обеспечена.

8. Проверка прочности опорного сечения балки от действия расчетного значения поперечной силы (от сдвига) V_d .

Расчетное значение поперечной силы V_d , действующей в опорном сечении, определяем из комбинации воздействий, приведенной в предыдущем пункте алгоритма.

$$V_d = \frac{F_{d,P}}{2} + F_{d,swL} \cdot \frac{l}{2} + F_{d,g1} \cdot \frac{l}{2} + F_{d,g2} \cdot \frac{l}{2} = 11,32 \text{ кН}.$$

Определяем расчетное значение скалывающих напряжений $\tau_{v,d}$ в опорном сечении балки, используя выражение (9.43) настоящего пособия.

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \cdot h_{ef}} = 0,85 \text{ Н/мм}^2.$$

Определим величину касательных напряжений в опорном сечении, с учетом образования поверхностных трещин, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1 (6.1.7 (2)).

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \times 100 = 67 \text{ мм. Тогда } \tau_{v,d}^* = 1,27 \text{ кН/мм}^2.$$

Определяем расчетное значение прочности древесины при сдвиге. $f_{v,d} = \frac{k_{mod,med} \times k_{sys} \times f_{v,k}}{\gamma_m} = 1,47 \text{ Н/мм}^2$.

Поскольку $\tau_{v,d}^* \text{ и } \tau_{v,d} < f_{v,d}$, то прочность балки, от действия поперечной силы V_d в опорном сечении, обеспечена.

9. Проверка прочности балки в зоне расположения подрезки.

Проверку прочности балки в зоне расположения подрезки выполняем с использованием выражения (9.44) настоящего пособия. Значение скалывающего напряжения $\tau_{v,d} = 0,85 \text{ Н/мм}^2$ было определено в предыдущем пункте данного примера, как и значение $f_{v,d} = 1,47 \text{ Н/мм}^2$. Тогда расчетное значение прочности древесины при сдвиге в зоне расположения подрезки будет

$$f_{v,d}^* = k_v \cdot f_{v,d} = 0,59 \times 1,47 = 0,87 \text{ Н/мм}^2.$$

Поскольку $\tau_{v,d} < f_{v,d}^*$, то прочность балки, в зоне расположения подрезки, обеспечена.

10. Проверка прочности опорных площадок балки от смятия древесины поперек волокон.

Расчетным значением нагрузки, вызывающей смятие древесины балки под опорными площадками, является величина реакции $V_d = 11,32 \text{ кН}$.

Определяем расчетное значение напряжения смятия $\sigma_{c,90,d}$ под опорными площадками балки, используя для этого выражение (9.24) настоящего пособия.

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{b \cdot l_b} = 1,26 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем расчетное значение прочности древесины при смятии поперек волокон.

$$f_{\bar{n},90,d} = \frac{k_{\text{mod,med}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_{\bar{n},90} \cdot f_{\bar{n},90,k}}{\gamma_m} = 1,46 \text{ Н/мм}^2.$$

Поскольку $\sigma_{c,90,d} < f_{c,90,d}$, то прочность опорных площадок балки обеспечена.

11. Определение прогиба балки.

Поскольку напряжения смятия под опорными площадками не превышают расчетного значения прочности древесины при смятии поперек волокон, то деформации опорных площадок, при определении прогиба балки, не учитываются.

В данном примере, наибольшее значение расчетного эффекта, для предельных состояний SLS, будет соответствовать наибольшему значению изгибающего момента и поперечной силы, получаемым из комбинации существующих сочетаний нагружения. Критической комбинацией для определения прогиба балки является сочетание расчетного случая, т.е комбинация воздействий (1)+(2)+(3)+(4), но с частными коэффициентами, принимаемыми равными 1.

Поскольку балка изготовлена из одного материала (цельная древесина), то для определения мгновенного прогиба и прогиба от ползучести балки, используем средние значения упругих характеристик.

Определяем значение мгновенного прогиба $u_{\text{inst,G}}$ от действия постоянной нагрузки. Для этого воспользуемся Таблицей 33 настоящего пособия.

Значение мгновенного прогиба от действия сосредоточенной нагрузки $G_{k,p} = 0,8 \text{ кН}$ будет

$$u_{\text{inst},1} = \frac{G_{k,p}}{4E_{0,\text{mean}}} \left(\frac{l}{h} \right)^3 \times \left[1 + 1,2 \left(\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{0,\text{mean}}} \right) \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] = 0,86 \text{ мм};$$

Значение мгновенного прогиба от действия постоянных равномерно распределенных нагрузок $G_{k,swL} = 0,09 \text{ кН/м}$ и $G_{k,g1} = 1,94 \text{ кН/м}$ будет

$$u_{\text{inst},2} = \frac{5(G_{k,swL} + G_{k,g1})l^4}{32E_{0,\text{mean}}b(h)^3} \left(\frac{l}{h} \right)^3 \times \left[1 + 0,96 \left(\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{0,\text{mean}}} \right) \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] = 4,66 \text{ мм}.$$

Мгновенный прогиб от действия постоянной нагрузки будет

$$u_{\text{inst,G}} = u_{\text{inst},1} + u_{\text{inst},2} = 5,52 \text{ мм}.$$

Значение мгновенного прогиба от действия переменной равномерно распределенной нагрузки $Q_{k,g2} = 2,3 \text{ кН/м}$ будет

$$u_{\text{inst},Q} = \frac{5(Q_{k,g2})^4}{32E_{0,\text{mean}}b(h)^3} \times \left[1 + 0,96 \left(\frac{E_{0,\text{mean}}}{G_{0,\text{mean}}} \right) \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] = 5,31 \text{ мм.}$$

Мгновенный прогиб от действия постоянного и переменного воздействий будет

$$u_{\text{inst}} = u_{\text{inst},G} + u_{\text{inst},Q} = 10,83 \text{ мм.}$$

Ограничения СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 по прогибу $u_{\text{inst}} \leq \frac{l}{300}$ выполняется, поскольку $\frac{10,83}{3490} = \frac{1}{322}$

Общий прогиб от постоянных воздействий будет

$$u_{\text{fin},G} = u_{\text{inst},G} (1 + k_{\text{def}}) = 9,94 \text{ мм.}$$

Общий прогиб от временных и практически постоянных воздействий будет

$$u_{\text{fin},Q} = u_{\text{inst},Q} (1 + \psi_2 \times k_{\text{def}}) = 6,58 \text{ мм.}$$

Общий прогиб от постоянных и практически постоянных воздействий будет

$$u_{\text{net,fin}} = u_{\text{fin},G} + u_{\text{fin},Q} = 16,52 \text{ мм.}$$

Проверим ограничения по прогибам

$$w_{\text{net,fin}} = \frac{l}{150},$$

$$w_{\text{net,fin}} = 3490/150 = 23,6 \text{ мм.}$$

Прогиб балки удовлетворяет требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Таким образом, запроектированная деревянная балка покрытия с поперечным сечением $b \times h = 100 \times 220$ мм при действии установленных нагрузок, удовлетворяет требованиям по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности.

9 СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Все соединения, используемые в деревянных конструкциях, по способу передачи нагрузки можно разделить на следующие виды:

- соединения, в которых усилия передаются непосредственным упором контактных поверхностей соединяемых элементов (примыкание в опорных частях элементов, врубки и т.п.);
- соединения на механических связях;
- соединения на клеях.

Механическими в соединениях деревянных конструкций называют рабочие связи различных видов из твердых пород древесины, стали, различных сплавов или пластмасс, которые могут вставляться, врезаться, ввинчиваться или запрессовываться в тело древесины соединяемых элементов. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 рассматриваются соединения элементов деревянных конструкций с использованием таких механических связей, как шпонки, нагели, болты, гвозди, шурупы и винты, скобы, шайбы шпоночного типа, нагельные пластинки и металлические зубчатые пластины.

Такой вид соединений деревянных элементов как врубки, в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 не рассматривается. Требования к клеевым соединениям изложены в соответствующих стандартах EN на выпускаемые изделия.

Расчет соединений элементов деревянных конструкций, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, должен осуществляться: по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности.

Расчет соединений по предельным состояниям несущей способности заключается в проверке расчетного усилия, действующего на соединение, которое не должно превышать его несущей способности.

Расчет соединений по предельным состояниям эксплуатационной пригодности заключается в определении перемещений с целью учета их при определении мгновенных и конечных перемещений конструкции, а также, если перемещение в соединении влияет на распределение жесткости конструкции, то для установления окончательного распределения усилий в конструкции.

9.1 Расчет соединений на металлических связях нагельного типа

9.1.1 Металлические связи нагельного типа

Металлические связи нагельного типа согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 разделяются на две основные группы:

– металлические связи нагельного типа – это связи, в которых равновесие нагеля обеспечивается только продольными силами, параллельными направлению сдвига соединяемых элементов, например, гвозди, шурупы, нагели и болты, скобы, и т.д.;

– связи, вызывающие смятие древесины в соединяемом элементе по контактными площадкам, например, штампованная металлическая пластина, разрезные кольца, и т.д.

9.1.2 Гвозди

9.1.2.1 Используемые в соединениях элементов деревянных конструкций гвозди, по типу стержня подразделяются на гладкие гвозди, гвозди с кольцевой и винтовой накаткой, а по форме поперечного сечения – на круглые и квадратные. Гвоздь с винтовой накаткой обеспечивает более легкое вхождение в волокна древесины, что позволяет исключить расколы в пробиваемой древесине или материалах на ее основе. Гвоздь с кольцевой накаткой на стержне имеет поперечные насечки, благодаря которым он обладает большей сопротивляемостью при выдергивании. За счет кольцевой и винтовой накатки уровень надежности такого соединения выше, чем соединений с использованием обычных гвоздей.

Гвозди изготавливаются из стальной проволоки по EN 10218-1 или из катанки нелегированной стали по EN 10016 в соответствии с EN 10230-1.

Для гвоздей, выпускаемых по EN 10230-1, номинальный диаметр d должен быть не меньше 1,9 мм (Рисунок 32)

Площадь шляпки гвоздя A_h должна быть не менее $2,5 d^2$, а толщина шляпки h_t не должна быть менее $0,25 d$ (Рисунок 32). Длина l_p острия гвоздя должна быть не менее $0,5 d$ и не превышать $1,5 d$.

Для профилированных гвоздей длина нарезной части l_g должна составлять не менее $4,5d$. Допуски на размеры для гвоздей должны соответствовать требованиям EN 10230-1.

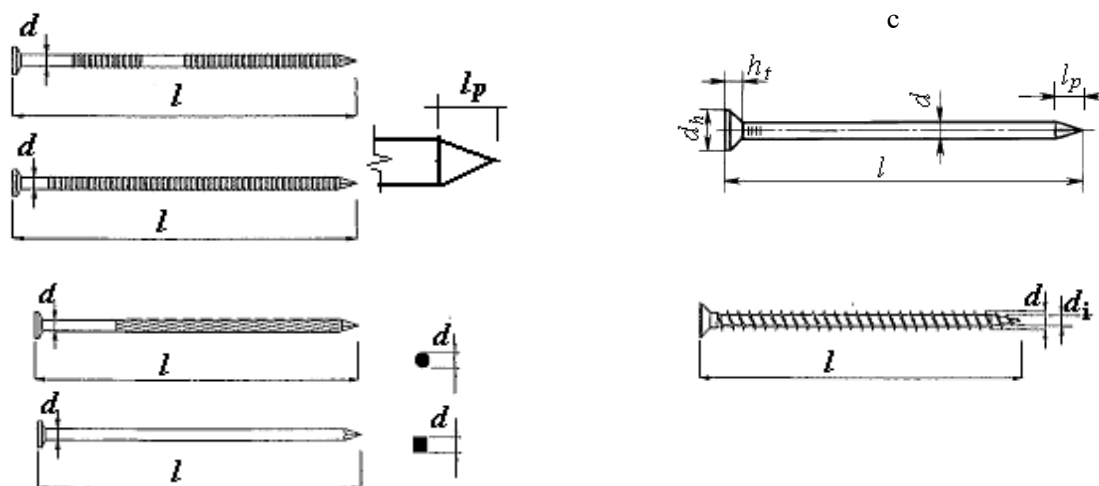


Рисунок 32 – Общий вид типов гвоздей и их параметры

9.1.2.2 Механическая прочность гвоздей характеризуется следующими величинами:

- характеристическим значением изгибающего момента $M_{y,k}$ пластической деформации;
- характеристическим значением прочности при выдергивании $f_{ax,k}$;
- характеристическим значением прочности при вдавливании $f_{h,k}$;
- характеристическим значением прочности при протаскивании головки $f_{head,k}$;
- характеристическим значением предела текучести f_u материала гвоздя.

При определении характеристических значений гвоздевых соединений, диаметр гвоздя принимается равным номинальному значению d .

9.1.3 Винты и шурупы

9.1.3.1 Винты подразделяются на шурупы, самонарезающие винты, или саморезы и винты закручиваемые в предварительно просверленные отверстия. Винты со стержнем конической формы чаще всего называют шурупами, а цилиндрической – винтами.

В маркировке винта присутствуют два числа, например – 4×30 . Первое число указывает диаметр винта под головкой в миллиметрах, второе – длину в миллиметрах участка винта, находящегося внутри элемента, т. е. длину от острия до большего из поперечных сечений головки. Для винтов с потайной головкой, это суммарная длина стержня и головки, а для винтов с полукруглой головкой – только длина стержня.

9.1.3.2 Для соединений элементов деревянных конструкций могут использоваться винты, резьбовая часть которых меньше или больше диаметра первоначальной заготовки из которой был изготовлен винт. В первом случае, диаметр гладкого стержня должен равняться диаметру максимального внешнего поперечного сечения участка с резьбой. Во втором случае, диаметр стержня этих винтов должен быть меньше диаметра гладкого стержня по сравнению с диаметром максимального внешнего сечения резьбы.

9.1.3.3 Винты могут изготавливаться в соответствии с требованиями EN 10083-2 или EN 10016 (все части). Материал винтов должен соответствовать требованиям EN 10083-1

или СТ РК EN 10088-2. В соединениях элементов деревянных конструкций чаще всего используются винты $6 \text{ мм} \leq d \leq 12 \text{ мм}$ с $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$. Здесь d – наружный диаметр резьбы, а d_1 – внутренний диаметр резьбы (Рисунок 33).

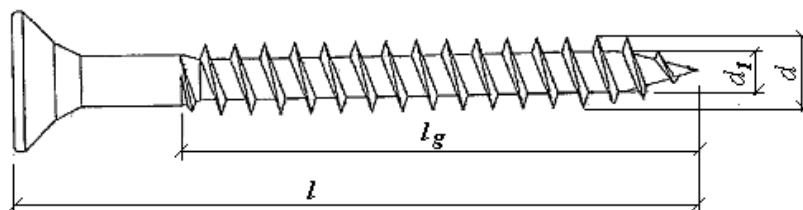


Рисунок 33 – Общий вид винта

9.1.3.4 Винты должны всегда быть закреплены путем ввинчивания в древесину, но не путем забивки, и все характеристические значения прочности, приведенные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 для винтов, основаны на данном положении. Винты с диаметром гладкой части 6 мм или менее завинчиваются в соединяемый элемент без предварительного сверления отверстий. Если диаметр винта больше 6 мм, то его завинчивание выполняется в предварительно просверленные отверстия, которые должны соответствовать следующим требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011:

- глубина предварительно просверленного отверстия для винта должна равняться его длине;
- диаметр предварительно просверленного отверстия должен составлять примерно 70 % от диаметра винта.

9.1.3.5 Механическая прочность винтов характеризуется следующими свойствами:

- характеристическим значением изгибающего момента M_{yk} пластической деформации;
- характеристическим значением прочности $f_{ax,k}$ при выдергивания винта из древесины;
- характеристическим значением прочности $f_{tens,k}$ при протаскивании головки винта;
- характеристическим значением предела текучести $f_{u,k}$ материала винта;
- коэффициентом характеристического сопротивления кручению $f_{tor,k}/R_{tor,k}$.

Механическая жесткость винтов характеризуется углом изгиба α и определяется на основании характеристического значения изгибающего момента M_{yk} пластической деформации, который определяется на основании испытания по EN 409, или рассчитывается по соответствующим формулам.

9.1.4 Болты и нагели

9.1.4.1 Нагели – цилиндрические стержни, изготавливаемые в основном из стали. Они имеют гладкую или бороздчатую поверхность. Диаметр нагелей может быть от 6 до 30 мм. Болты – нагели с резьбой, с шестиугольными или полусферическими головками и шестиугольными гайками. Диаметр болтов, используемых в соединениях элементов деревянных конструкций, может достигать 30 мм. Нагели и болты, в основном, используются для восприятия в соединениях больших сдвигающих усилий между

соединяемыми элементами по сравнению с гвоздями и шурупами. Болты могут использоваться в соединениях в виде растянутых связей, но здесь они не выполняют функций нагелей.

9.1.4.2 При использовании болтов в качестве нагелей, в обязательном порядке между головкой и гайкой, должны устанавливаться шайбы. Критерием завинчивания болтов является втапливание шайбы в соединяемый элемент на один виток резьбы.

9.1.4.3 Нагели должны устанавливаться в предварительно просверленные отверстия. Диаметр отверстий должен быть не более диаметра нагеля. В случае соединения на болтах, диаметр предварительно просверленного отверстия в древесине не должен быть больше чем на 1 мм от диаметра болта.

9.1.5 Основные положения по расчету соединений на металлических связях нагельного типа, принятые в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011

9.1.5.1 В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, при расчете соединений на металлических связях нагельного типа, предполагается, что в соединении раньше наступит пластическое разрушение (смятие древесины в нагельном гнезде, изгиб нагеля), а затем только хрупкое (раскалывание древесины нагелем). Это достигается путем соблюдения, установленных в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 требований по расстановке нагелей.

9.1.5.2 В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 «нагель» – общее обозначение, используемое для крепежных элементов, которые распределяют нагрузку между соединяемыми элементами из комбинации изгибающей, и сдвигающей нагрузки в нагеле и сдвигающей и сминающей нагрузки (называемой вдавливанием) в древесине. Для оценки предельной нагрузки нагельного соединения используется жесткопластическая модель, описание которой, было приведено в п. 6.6.2 настоящего пособия. Согласно этой модели, соединенные между собой крепежный элемент и древесина (или материал на ее основе) должны работать как абсолютно жестко-пластичные материалы в соответствии с зависимостями «напряжение-деформация», приведенными на Рисунке 2 настоящего пособия (часть 1).

В соответствии с принятой моделью, в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 приведены выражения по определению характеристических значений несущей способности крепежных элементов, учитывающие возможные формы разрушения, которые могут возникнуть в соединениях элементов «древесина-древесина», «плитный материал на основе древесины-древесина» и «древесина-сталь».

Выражения по определению характеристических значений несущей способности крепежных элементов для соединений «древесина-древесина» и «плитный материал на основе древесины-древесина» приведены в Таблице 34, а для соединений «древесина-сталь» - Таблица 35.

9.1.5.3 В СН РК EN 1995-1-1 в односрезных и двусрезных нагельных соединениях со стальными пластинами («древесина-сталь»), тонкие пластины соответствуют толщине меньше или равной $0,5d$ диаметра (d) нагеля, а толстые – толщине равной и больше d_s допуском для отверстия нагеля меньше $0,1d$.

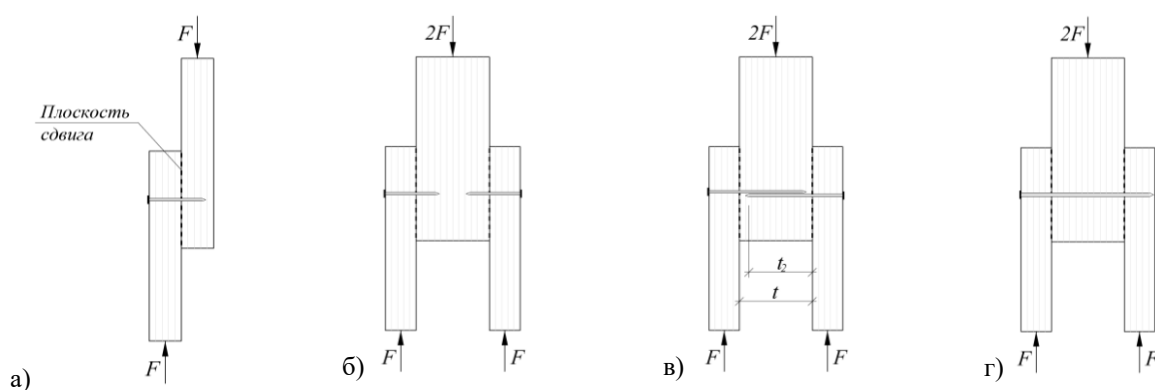
9.1.5.4 Формулы, приведенные в Таблицах 34 и 35, как и в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, относятся к характеристической несущей способности для

одного крепежного элемента в плоскости сдвига.

Для соединений с одной плоскостью сдвига (Рисунок 34 а-в), характеристическая несущая способность в плоскости сдвига $F_{v,Rk}$, будет равна минимальному значению из выражений для соответствующих случаев сдвига по одной плоскости, представленных в Таблицах 34 и 35.

Для симметричных соединений с двумя плоскостями сдвига (Рисунок 34г), характеристическая несущая способность крепежного элемента в плоскости сдвига $F_{v,Rk}$, будет равна минимальному значению уравнения для соответствующих случаев сдвига, представленных в Таблицах 34 и 35, и форма разрушения будет соответствовать такому уравнению. Однако, поскольку по крепежному элементу проходит две плоскости сдвига, характеристическая несущая способность крепежного элемента будет равна $2 F_{v,Rk}$.

Основные составляющие, используемые в Формулах (9.1 – 9.2) – это диаметр нагеля d , характеристический момент, вызывающий текучесть крепежного элемента $M_{y,Rk}$, характеристическая прочность при вдавливании $f_{h,i,k}$ i -го элемента соединения, значения которых приводятся ниже.



- а), б) и в) – примеры односрезных соединений с плоскостью сдвига по крепежному элементу;
г) – пример двухсрезного соединения с двумя плоскостями сдвига по крепежному элементу

Рисунок 34 – Металлические связи в соединениях нагельного типа

Таблица 34 – Выражения для определения характеристической несущей способности крепежного элемента по плоскости сдвига для соединений «древесина-древесина» и «древесина-плитный материал на основе древесины» *

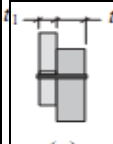

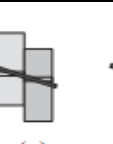
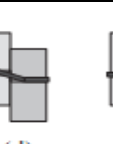
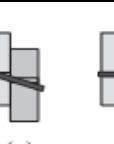
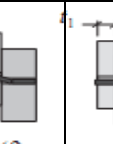
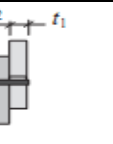
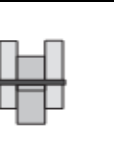

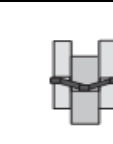
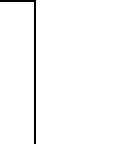
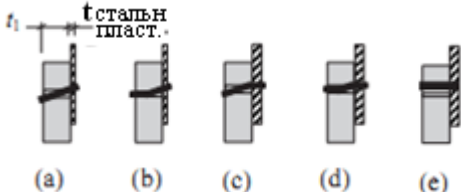
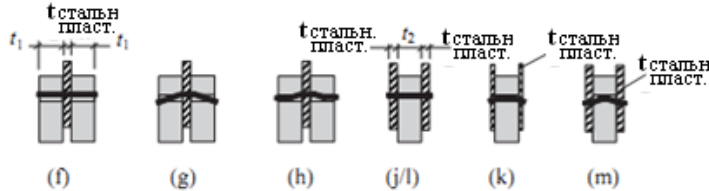
Соединения с одной плоскостью сдвига											
Формы разрушения											
Характеристическая несущая способность крепежного элемента по плоскости сдвига $F_{v,Rk}$, - минимальное значение из выражений для форм разрушения: (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Формула (8.6)))	$F_{v,Rk}=f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$									форма (a) (9.1)	
	$F_{v,Rk}=f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$									форма (b) (9.2)	
	$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$									форма (c) (9.3)	
	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$									форма (d) (9.4)	
	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_2^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$									форма (e) (9.5)	
	$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + 2\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$									форма (f) (9.6)	
Характеристическая несущая способность крепежного элемента по плоскости сдвига $F_{v,Rk}$, - минимальное значение из выражений для форм разрушения: (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Формула (8.7)))	$F_{v,Rk}=f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$									форма (g) (9.7)	
	$F_{v,Rk}=0,5f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$									форма (h) (9.8)	
	$F_{v,Rk} = 1,05 \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$									форма (j) (9.9)	
	$F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + 2\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$									форма (k) (9.10)	
* На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (8.2.2 и 8.2.3)											

Таблица 35 – Выражения для определения характеристической несущей способности крепежного элемента по плоскости сдвига для соединений «сталь-древесина» *

Формы разрушения	<p>Соединения с одной плоскостью сдвига - формы (а) и (б) имеют тонкие пластины, а формы (с), (д) и (е) имеют толстые пластины.</p>  <p align="center">(a) (b) (c) (d) (e)</p>	<p>Соединения с двумя плоскостями сдвига – пластины любой толщины, если ниже не определено другое</p>  <p align="center">(f) (g) (h) (j/l) (k) (m)</p>
<p>Характеристическая несущая способность крепежного элемента по плоскости сдвига $F_{v,Rk}$, - минимальное значение из выражений для форм разрушения: (СН РК EN1995-1-1:2008/2011, Формулы (8.9), (8.10))</p>	$F_{v,Rk} = 0,4 f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d$ $F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ $F_{v,Rk} = f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ $F_{v,Rk} = 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ $F_{v,Rk} = f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d$	<p>форма (а) (9.11)</p> <p>форма (б) (9.12)</p> <p>форма (с) (9.13)</p> <p>форма (д) (9.14)</p> <p>форма (е) (9.15)</p>
<p>Характеристическая несущая способность крепежного элемента по плоскости сдвига $F_{v,Rk}$, - минимальное значение из выражений для форм разрушения: (СН РК EN1995-1-1:2008/2011, Формулы (8.11), (8.12), (8.13))</p>	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$ $F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ $F_{v,Rk} = 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ $F_{v,Rk} = 0,5 f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$ $F_{v,Rk} = 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$ $F_{d,1} = 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	<p>форма (г) (9.16)</p> <p>форма (h) (9.17)</p> <p>форма (j) (9.18)</p> <p>форма (к) (9.19)</p> <p>форма (l) (9.20)</p> <p>форма (m) (9.21)</p>
<p>* На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (8.2.2 и 8.2.3).</p>		

9.1.5.5 Величина диаметра связи нагельного типа, в формулах Таблиц 34 и 35, зависит от типа крепежного элемента, используемого в соединении, и определяется по правилам, установленным в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, которые приведены в Таблице 36.

9.1.5.6 Значение характеристического момента текучести $M_{y,Rk}$, для различных типов металлических крепежных элементов, может быть определено из выражений, приведенных в Таблице 37.

9.1.5.7 Характеристическая прочность вдавливания $f_{h,k}$ соединительного элемента в массив древесины или материала на ее основе – это прочность при сжатии древесины или материала на ее основе от воздействия жесткого металлического нагеля.

9.1.5.7.1 Характеристическая прочность при вдавливании для гвоздей диаметром меньше или равно 8 мм изменяется в зависимости от диаметра используемого гвоздя, типов используемых материалов в соединении, и от того, использовалось ли предварительное сверление. Определение прочности при вдавливании для возможных случаев, возникающих при расчете, приведено в Таблице 38.

9.1.5.7.2 Характеристическая прочность при вдавливании для скоб определяется с использованием выражений, приведенных в Таблице 38 для гвоздей, а если скоба имеет прямоугольное поперечное сечение, то диаметр должен определяться как квадратный корень из произведения размеров двух сторон поперечного сечения стержня.

Таблица 36 – Требования СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 по определению диаметра крепежного элемента

Крепежный элемент	Диаметр, d, мм
Гвозди: - гладкие круглые гвозди (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.3.1.1(4)); - квадратные гвозди и гвозди с пазами (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.3.1.1(3)).	Диаметру гвоздя в соответствии с СТ РК EN 14592; размеру стороны.
Скобы - с круглыми ногами (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.4(1)); - с прямоугольным поперечным сечением (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.4(2))	Диаметру стержня скобы; квадратному корню из произведения сторон поперечного сечения скобы.
Болты (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.5.1.1(2))	Диаметру болта.
Нагели (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.6(1))	Диаметру нагеля.
Винты (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.7.1); а) Общее (б) При определении момента текучести винта, значение учтено в прочности при изгибе от резьбовой части винта, путем использования расчетного диаметра следующим образом: 1) винты с гладкой частью – если внешний диаметр резьбы d равен диаметру стержня, и гладкая часть заходит в элемент в точке ввинчивания в поверхность, но не более, чем на 4d; 2) если условия (1) не выполняются.	(а) Диаметру шурупа (диаметр стержня / внешний диаметр стержня): (б) (1) расчетный диаметр d_{ef} - диаметр стержня d; (б) (2) расчетный диаметр d_{ef} - внутренний диаметр резьбы.

**Таблица 37 –Выражения по определению $M_{y,Rk}$ согласно требованиям
СН РК EN 1995-1-1:2008/2011**

Крепежный элемент	$M_{y,Rk}, Н \cdot мм$
Гвозди: - гладкие круглые гвозди (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.14) - квадратные гвозди (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, вып.8.14)	$0,3f_u d^{2,6}, \quad (9.22)$ $0,45f_u d^{2,6}, \quad (9.23)$
Скобы (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, вып.8.29)	$240d^{2,6}, \quad (9.24)$
Болты (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, вып.8.30)	$0,3f_{u,k} d^{2,6}, \quad (9.22)$
Нагели (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.6.1)	$0,3f_{u,k} d^{2,6}, \quad (9.22)$
Винты (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, 8.7.1): винты с гладкой частью диаметром $d \leq 6$ мм винты с гладкой частью диаметром $d > 6$ мм	Как для нагелей Как для болтов
Примечание – Здесь d – диаметр гвоздя, скобы или нагеля, мм. Для скоб с прямоугольными сечениями, d - квадратный корень произведения размеров сторон поперечного сечения стержня, а для винтов d – расчетный диаметр, определяемый Таблице 36; f_u – прочность при растяжении проволоки для гвоздя (или материала винта) Н/мм ² ; $f_{u,k}$ – характеристическая прочность при растяжении болта (или материала винта), Н/мм ² .	

Таблица 38 –Характеристическая прочность для гвоздей при их вдавливании

Условие	$f_{h,k}, Н/мм^2$
Для соединений из древесины и LVLс использованием гвоздей диаметром до 8мм: - без предварительного сверления отверстий (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.15); - с предварительным сверлением отверстий (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.16)	$0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3}, \quad (9.25)$ $0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k, (9.2)$
Для соединений из древесины и LVL с использованием гвоздей диаметром более 8мм	Применяются выражения в Таблице 9.7 как для болтов
Для соединений «плита-древесина», с использованием гвоздей, в которых диаметр шляпки не менее $2d$, и условии, что материал плиты – это: клееная фанера (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.20) ДВП (в соответствии с СТ РК EN 622-2 (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.21)) ДСП или OSB (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.22)	$0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3}, \quad (9.27)$ $30 \cdot t^{0,6} \cdot d^{0,3}, \quad (9.28)$ $60 \cdot t^{0,1} \cdot d^{0,7}, \quad (9.29)$
Примечание – Здесь d – диаметр гвоздя, мм; ρ_k – характеристическая плотность древесины, LVL или материала плиты, кг/м ³ ; t – толщина плиты, мм.	

9.1.5.7.3 Характеристическая прочность при вдавливании для болтов, гвоздей (диаметром > 8 мм) и нагелей определяется с использованием выражений, приведенных в Таблице 39.

9.1.5.7.4 Характеристическая прочность при вдавливании для винтов принимается:

– как и для гвоздей, при использовании винтов с гладкой частью диаметром $d \leq 6$ мм;

– как и для болтов, при использовании винтов с гладкой частью диаметром $d > 6$ мм.

Таблица 39 – Характеристическая прочность при вдавливании болтов, гвоздей (диаметром > 8 мм) или нагелей

Условие	$f_{h,k}, \text{Н/мм}^2$
Для древесины и LVL: - нагружение вдоль волокон (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.32) -нагружение под углом к волокнам (СН РК EN 1995-1-1: 2008/2011, Формула 8.31)	$0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k, (9.26)$ $f_{h,0,k} / (k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha), (9.30)$
Для соединения плиты с древесиной, нагруженных под любым углом к поверхности, если материал плиты – клееная фанера, то характеристическая прочность при вдавливании в материале плиты будет равна: (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.36):	$0,11 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k, (9.31)$
Для соединений плиты с древесиной, нагруженных под любым углом к поверхности, если материал плиты – ДСП или OSB, то характеристическая прочность при вдавливании в материале плиты будет равна: (СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, Формула 8.37):	$50 t^{0,2} \cdot d^{0,6}, (9.31)$
Примечание – Здесь d – диаметр крепежного элемента; ρ_k – характеристическая плотность принятого материала; t – толщина материала плиты; α – угол приложения силы к крепежному элементу по отношению к волокнам; $k_{90} = (1,35 + 0,015d)$ – для мягких (хвойных) пород, $(1,3 + 0,015d)$ – для LVL и $(0,9 + 0,015d)$ – для твердых пород древесины.	

9.1.5.7.5 Характеристическая прочность при вдавливании для винтов принимается:

- как и для гвоздей, при использовании винтов с гладкой частью диаметром $d \leq 6$ мм;
- как и для болтов, при использовании винтов с гладкой частью диаметром $d > 6$ мм.

9.1.5.8 В соединении элементы делятся на элемент 1 и элемент 2, как показано в Таблицах 34 и 35, а их толщины обозначены соответственно, как t_1 и t_2 . Такие же обозначения приняты и в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Для большего понимания приводятся следующие разъяснения:

– для соединений на гвоздях:

t_1 – это:

- толщина материала с основной частью гвоздя, если соединение с одной плоскостью сдвига;

- минимальное значение из толщины материала с основной частью гвоздя и величины забитой части гвоздя в случае двухсрезного соединения.

t_2 – это:

- величина забитой части гвоздя, если соединение с одной плоскостью сдвига;

- толщина центрального элемента в случае двухсрезного соединения.

За «толщину материала основной части гвоздя» следует принимать толщину элемента, включающего шляпку гвоздя, а за «величину забитой части гвоздя» - расстояние, на которое заостренный конец гвоздя входит в элемент.

– для соединений на скобах:

t_1 и t_2 принимаются в соответствии с Рисунком 35;

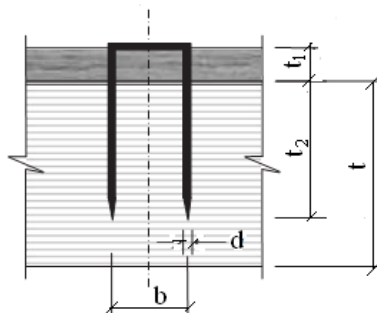


Рисунок 35 – Размеры скобы

– для соединений на болтах:

t_1 – толщина материала основной части болта, если соединение с одной плоскостью сдвига или двумя плоскостями сдвига (предполагая соединение симметричным);

t_2 – толщина элемента, в который закручен болт, если соединение с одной плоскостью сдвига или толщина центрального элемента – в случае двухсрезного соединения.

– для соединений с нагелями:

t_1 – это:

- длина нагеля в элементе 1, если соединение с одной плоскостью сдвига;
- минимальная длина нагеля во внешних элементах – в случае двухсрезного соединения.

t_2 – это:

- длина нагеля в элементе 2, если соединение с одной плоскостью сдвига;
- толщина центрального элемента – в случае двухсрезного соединения.

– для соединений на шурупах:

- при определении t_1 и t_2 применяются правила как для гвоздей.

9.1.5.9 В выражениях (Таблицы 34 и 35) по определению характеристических значений несущей способности, кроме изгиба соединительного элемента и вдавливания (смятия) древесины, учитываются эффекты трения и выдергивания крепежного элемента соединения, возникающие при его изгибе. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, для учета эффекта трения, возникающего между контактирующими поверхностями соединительного и соединяемых элементов, используется отношение характеристической прочности элемента 2 при вдавливании ($f_{h,2,k}$) к характеристической прочности элемента 1 при вдавливании ($f_{h,1,k}$), т.е.

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}. \quad (9.32)$$

При воздействии на крепежный элемент соединения усилия сдвига, он будет испытывать и растяжение (выдергивание). В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 для учета эффекта растяжения (выдергивания) крепежного элемента, в выражениях по определению характеристической несущей способности крепежного элемента, введено дополнительное слагаемое $F_{ax,Rk}/4$, где $F_{ax,Rk}$ – характеристическая осевая несущая способность крепежного элемента при выдергивании. Определение $F_{ax,Rk}$ для гвоздей и скоб приведено в

СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (8.3.2); для болтов – в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (8.5.2); для шурупов – в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (8.7.2).

При определении характеристических значений $F_{ax,Rk}$ соединительных элементов должны соблюдаться следующие требования по анкеровке:

а) для гладких гвоздей, минимальная длина анкеровки со стороны заостренного конца в древесине, не должна быть меньше $8d$. При длине анкеровки гвоздя $8d$, значение несущей способности при выдергивании гвоздя принимается равным нулю. Если длина анкеровки гвоздя со стороны заостренной части меньше или равно $12d$, то используется полное характеристическое значение прочности при его выдергивании, которое определяется из Формулы (8.25) в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Если длина анкеровки составляет от $8d$ до $12d$, то несущая способность гвоздя при выдергивании должна умножаться на $(t_{pen}/4d - 2)$, где t_{pen} – длина анкеровки гвоздя со стороны заостренного конца.

б) для других типов гвоздей, которые приведены в СТ РК EN 14592, минимальная длина анкеровки со стороны заостренного конца, не должна быть меньше $6d$. При длине анкеровки гвоздя $6d$, значение несущей способности при его выдергивании принимается равным нулю. В случае, когда длина анкеровки гвоздя со стороны заостренного конца меньше или равно $8d$, в расчетах принимается полное характеристическое значение несущей способности гвоздя при выдергивании, а если длина анкеровки находится в интервале от $6d$ до $8d$, то несущая способность при выдергивании должна умножаться на $(t_{pen}/2d - 3)$;

в) для гвоздей, забитых в торцы деревянных элементов, должны применяться требования, приведенные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (8.3.1.2(4));

г) для скоб, минимальная длина анкеровки t_2 со стороны заостренного конца, должна быть меньше или равно $14d$, где d – диаметр скобы (Рисунок 43);

д) для винтов, минимальная длина анкеровки со стороны заостренного конца резьбовой части, должна составлять 6 внешних диаметров винта, измеряемых на резьбовой части.

9.1.5.10 Приведенные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и в Таблицах 34 и 35 выражения по определению значений характеристической несущей способности справедливы только в том случае, если исключено возникновение раскалывания или сдвига в древесине, приводящих к хрупкому характеру разрушения соединения. Для выполнения данного условия должны быть соблюдены все требования по расстановке крепежных элементов нагельного типа, касающиеся соблюдения минимальных расстояний от кромки и торца до оси соединяемого элемента и шага между осями крепежных элементов (Рисунок 36). Минимальные расстояния для соединений с использованием гвоздей, скоб, нагелей и шурупов приведены в Таблицах 40 и 41.

При использовании в соединениях гвоздей диаметром более 6 мм и винтов с гладкой частью (неполной резьбой) диаметром более 6 мм, для их установки должно выполняться предварительное сверление отверстий. Требования для таких крепежных элементов приведены в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 10).

Предварительное сверление отверстий также следует выполнять в плотной древесине:

- для гвоздей, вбиваемых в древесину с характеристической плотностью более 500 кг/м^3 ;
- для всех шурупов, устанавливаемых в твердых породах древесины.

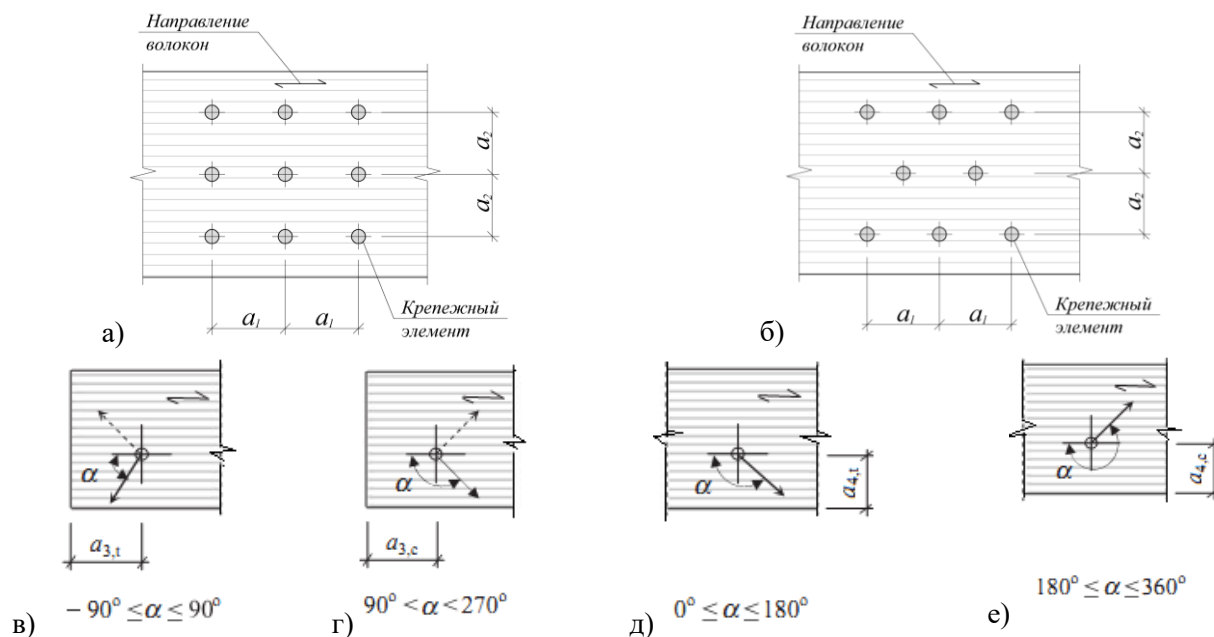


Рисунок 36 – Расстановка соединительных элементов нагельного типа

Кроме требований, приведенных в Таблице 40, для узлов с гвоздями или скобами должны соблюдаться следующие дополнительные требования СН РК EN 1995-1-1:2008/2011:

а) для поперечно нагруженных гвоздей согласно п. 8.3.1.1(2) в древесине выполняется предварительное сверление отверстий если:

- характеристическая плотность $>500 \text{ кг/м}^3$;
- диаметр гвоздя превышает $6d$.
- для соединения «древесина-древесина» на гвоздях, согласно п. 8.3.1.1(6), соединяемые элементы должны предварительно сверлиться, если толщина деревянных элементов меньше, чем t , которая определяется по формуле

$$t = \max \left\{ \frac{7d}{(13d - 30)\rho_k / 400} \right\}, \quad (9.32)$$

где t – толщина деревянного элемента, в котором выполняется предварительное сверление отверстий, мм;

ρ_k – характеристическая плотность древесины, кг/м^3 ;

d – диаметр гвоздя (мм).

б) для соединения на гвоздях «плита-древесина», согласно п. 8.3.1.3(1), минимальные величины шага для всех соединений на гвоздях «плита-древесина» равны приведенным в Таблице 40, умноженным на 0,85. Расстояния до торца/кромки остаются неизменными, если в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 не определено иное.

Согласно п. 8.3.1.3(2), минимальные расстояния до торца и кромки в элементах из клееной древесины должно приниматься $3d$ на ненагруженном торце (кромке) и $(3 + 4 \sin \alpha) d$ – на нагруженном торце (кромке).

в) для соединения на гвоздях «сталь-древесина», согласно п. 8.4.1.4(1) минимальные величины шага равны приведенным в Таблице 40, умноженным на 0,7. Минимальные расстояния до торца и кромки остаются неизменными.

Величина шага и расстояния до торца и кромки для соединений с болтами и/или нагелями приведены в Таблице 41.

Величина шага и расстояния до торца и кромки для соединений с винтами СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (8.7.1) принимаются следующими:

– для винтов с гладкой частью с диаметром более 6мм следует применять правила как для болтов.

– для винтов с гладкой частью и диаметром ≤ 6 мм следует применять правила как для гвоздей (Таблица 40).

Здесь d – диаметр гладкой части винта.

Таблица 40 – Минимальные величины шага или расстояния до торца, или кромки при использовании гвоздей или скоб диаметром d в соединениях «древесина- древесина» *

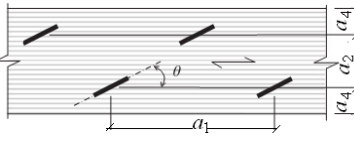
Минимальная величина шага или расстояния				
Величина шага или расстояния и α^{**}	Гвозди (Рисунок 44)			Скобы (Рисунок 44 и ниже) 
	С предварительно просверленными отверстиями		С предварительно просверленными отверстиями $d > 6$ мм и/или $\rho_k > 500$ кг/м ³	
	$\rho_k \leq 420$ кг/м ³	$420 \text{ кг/м}^3 < \rho_k \leq 500$ кг/м ³		
Шаг вдоль волокон – a_1 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5$ мм; $(5+5 \cos\alpha)d$ $d \geq 5$ 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 $a_{4,t}$ $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5$ мм; $(5+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5$ мм; $(5+5\sin\alpha)d$	$d < 5$ мм; $(7+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5$ мм; $(7+5\sin\alpha)d$	$d < 5$ мм; $(3+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5$ мм; $(3+4\sin\alpha)d$	$(15+5 \sin\alpha)d$
Расстояние до незагруженной кромки $a_{4,c}$ $180^\circ \leq \alpha \leq 380^\circ$	5d	7d	3d	10d
<div>* На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблицы 8.2 и 8.3)</div> <div>** α – угол между направлением прикладываемого усилия к гвоздю и волокнами</div>				

Таблица 41 – Минимальные величины шага или расстояния до торца, или кромки при использовании болтов и/или нагелей в соединениях «древесина- древесина», «плита- древесина» и «сталь- древесина» *

Величина шага или расстояния (см. Рисунок 44) и α^{**}	Минимальная величина шага или расстояния	
	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 $a_{4,c}$ $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	$3d$
<p>* На основании в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблицы 8.4 и 8.5) ** α – угол между направлением прикладываемого усилия к болту и волокнами.</p>		

9.1.5.11 Если соединение «сталь-древесина» расположено у торца деревянного элемента и работает на растяжение вдоль волокон, то при определении характеристических значений несущей способности, следует руководствоваться п. 8.2.3(5) и СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Приложение А) только в том случае:

- если в ряду 10 или более металлических крепежных элементов нагельного типа $d \leq 6 \text{ мм}$, расположенных вдоль волокон;
- если в ряду 5 или более металлических крепежных элементов нагельного типа $d > 6 \text{ мм}$, расположенных вдоль волокон.

9.1.5.12 Если соединение подвержено действию растягивающей силы, направленной под углом к волокнам (Рисунок 37), то должна быть выполнена проверка прочности от ее составляющей ($F_{Ed} \sin \alpha$), которая вызывает растяжение поперек волокон, исходя из условия

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd}, \quad (9.33)$$

где

$$F_{v,Ed} \max \left\{ \begin{matrix} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{matrix} \right., \quad (9.34)$$

$F_{90,Rd}$ – расчетная несущая способность при раскалывании древесины поперек волокон, определяемая по формуле

$$F_{90,Rd} = k_{mod} \frac{F_{90,Rk}}{\gamma_M}, \quad (9.35)$$

$F_{v,Ed,1}$ и $F_{v,Ed,2}$ – расчетные усилия сдвига в каждом элементе (стороне) соединения (Рисунок45).

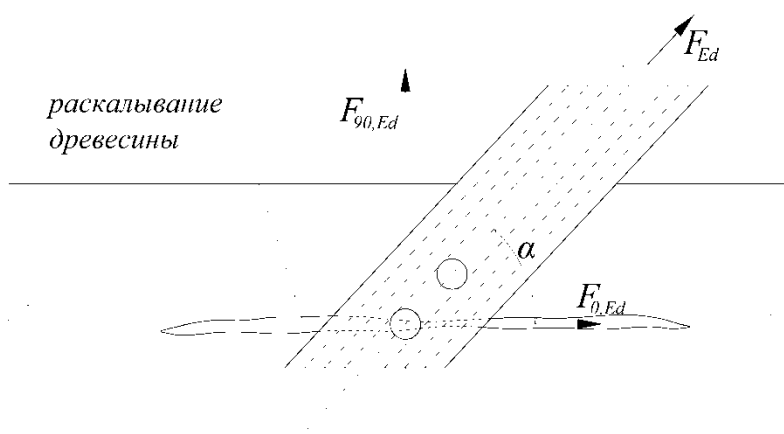


Рисунок 37 – Элемент, подверженный растяжению под углом к волокнам

Для узлов деревянных ферм, элементы которых изготовлены из мягких (хвойных) пород древесины, характеристическая несущая способность при раскалывании элемента А или элементов (Рисунок38), будет равна:

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{(1 - (h_e / h))}}, \quad (9.36)$$

где w – поправочный коэффициент, который для металлической штампованной пластины (МЗП) определяется $w = \max((w_{pl}/100)^{0.35}; 1)$, а для всех остальных крепежных элементов $w = 1$;

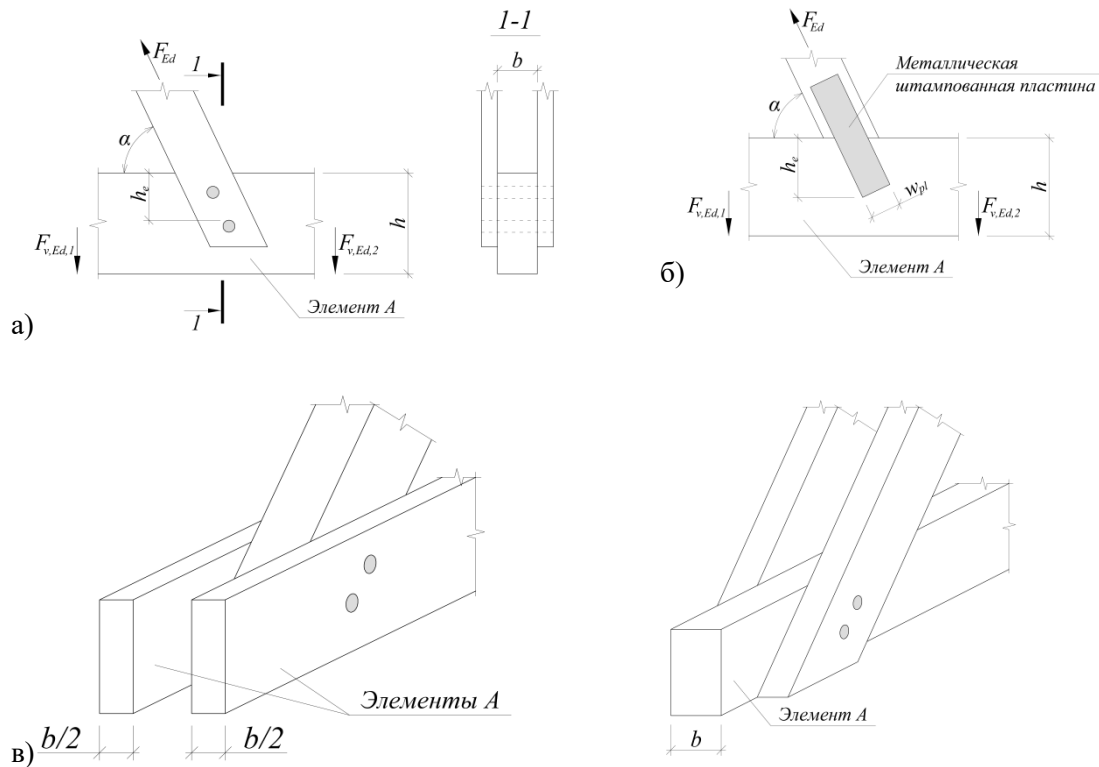
$F_{90,Rk}$ – характеристическая несущая способность при раскалывании, Н;

h_e – расстояние от самого отдаленного крепежного элемента или торца металлической штампованной пластины до нагруженной кромки, мм;

h – высота элемента, мм;

b – толщина элемента, мм;

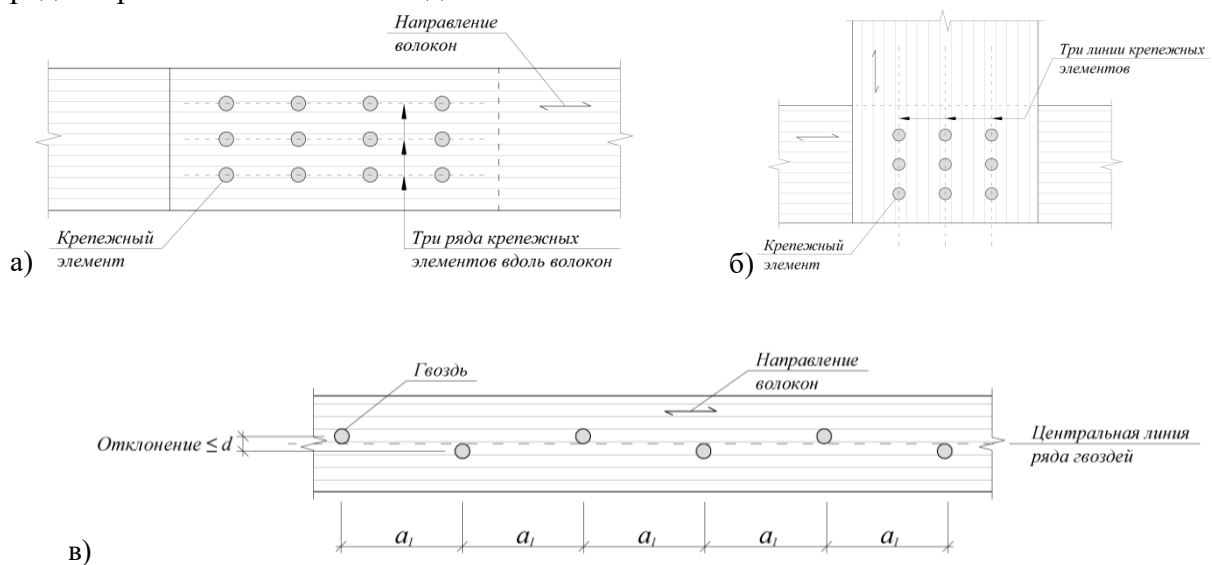
w_{pl} – ширина металлической штампованной пластины вдоль волокон, мм.



а) – соединение нагельного типа; б) – соединение с металлической штампованной пластиной (МЗП); в) – расположение элементов

Рисунок 38 – Узлы ферм

9.1.5.13 Несущая способность соединения зависит от количества крепежных элементов в соединении. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 число крепежных элементов, располагаемых вдоль линии параллельной направлению волокон (Рисунок 39), называют рядом крепежных элементов вдоль волокон.



а) и б) – линии крепежных элементов; в) – ряды из одиночных гвоздей

Рисунок 39 – Ряды крепежных элементов

Согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, приведенная характеристическая несущая способность крепежных элементов вдоль волокон $F_{v,ef,Rk}$, определяется по формуле

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk}, \quad (9.37)$$

где $F_{v,ef,Rk}$ – приведенная характеристическая несущая способность в поперечном направлении в плоскости сдвига одного ряда крепежных элементов, расположенных вдоль волокон;

n_{ef} – расчетное количество крепежных элементов в плоскости сдвига в ряду вдоль волокон;

$F_{v,Rk}$ – характеристическая несущая способность в поперечном направлении в плоскости сдвига крепежных элементов используемого типа.

9.1.5.14 Расчетное количество крепежных элементов n_{ef} в соединении зависит от типа крепежных элементов и направления действия нагрузки по отношению к волокнам, которое определяется:

– для соединений на гвоздях:

а) нагруженных вдоль волокон.

Если гвозди смещены в ряду менее чем на величину диаметра гвоздя в направлении поперек волокон (Рисунок 39в), то они все являются частью ряда, а если они смещены более чем на величину диаметра гвоздя в направлении поперек волокон, то это принимается за два отдельных ряда.

Для гвоздей в ряду, нагруженном в соединении вдоль волокон:

- при использовании отдельных гвоздей с одной или двумя плоскостями сдвига

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}, \quad (9.38)$$

- при использовании заходящих друг за друга гвоздей

$$n_{ef} = n_p^{k_{ef}}, \quad (9.39)$$

здесь n_{ef} – расчетное количество гвоздей в ряду вдоль волокон;

n – количество гвоздей в ряду вдоль волокон (для одиночных гвоздей);

n_p – количество заходящих друг за друга гвоздей в ряду по направлению волокон (заметим, что такой гвоздь внахлестку состоит из двух гвоздей);

k_{ef} – показатель, зависящий от шага гвоздей и предварительного сверления. Значения данного коэффициента приведены в Таблице 42.

Таблица 42 – Значение показателя k_{ef} для Формул (9.38) и (9.39)*

Шаг **	k_{ef}	
	С предварительным сверлением	Без предварительного сверления
$a_I = 14d$	1,0	1,0
$a_I = 12d$	0,925	0,925
$a_I = 10d$	0,85	0,85
$a_I = 9d$	0,8	0,8
$a_I = 8d$	0,75	0,75
$a_I = 7d$	0,7	0,7
$a_I = 5d$	0,5	-

* На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблицы 8.1)
 ** Линейная интерполяция величины k_{ef} допускается для шага между отмеченными значениями; шаг a_I – как показано на Рисунке 47в.

б) нагруженных поперек волокон.

Если гвозди нагружены поперек волокон в односрезном или двухсрезном соединениях (Рисунок 39б), то расчетное количество гвоздей n_{ef} в каждом ряду, должно приниматься равным фактическому количеству гвоздей n при использовании одиночных гвоздей, или количеству гвоздей внахлестку, как было определено в Формуле (9.39). При таком нагружении соединения, его несущая способность, как было описано в п. 9.1.5.11 настоящего пособия, будет равна меньшей из величин несущей способности раскалыванию элемента (-ов), подверженных действию растягивающего усилия, и несущей способности соединения, вычисляемой путем суммирования несущей способности крепежных элементов.

с) нагруженных под углом к волокнам.

Если гвозди, в односрезном или двухсрезном соединении, поперечно нагружены усилием, действующим под углом к волокнам, то должны вычисляться составляющие усилия вдоль и поперек волокон:

(1) составляющая расчетного усилия, действующего вдоль волокон, не должна превышать несущей способности, определенной из расчетного числа гвоздей в ряду согласно п. 9.1.5.13а) настоящего пособия;

(2) составляющая расчетного усилия, действующего поперек волокон, не должна превышать несущей способности, определенной согласно п. 9.1.5.13б) настоящего пособия.

– для соединений на скобах:

Для соединений с использованием скоб, n принимается равным удвоенному количеству скоб в ряду вдоль волокон. Если угол θ между верхней частью скобы и направлением волокон древесины (Рисунок в Таблице 40) больше 30° , то следует пользоваться Формулой (9.38).

Если угол θ меньше 30° , то следует пользоваться Формулой (9.38), но несущая способность в поперечном направлении должна умножаться на коэффициент 0,7.

Для нескольких скоб в ряду, n_{ef} определяется как для гвоздей.

– для соединений на болтах и нагелях:

а) нагруженных вдоль волокон.

Поскольку болты/нагели жестче, чем гвозди или скобы, то для соединений с одной или двумя плоскостями сдвига, понижение несущей способности ряда вдоль волокон, меньше. Расчетное количество болтов/нагелей, в этом случае, следует определять по формуле

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\}, \quad (9.40)$$

где n_{ef} – расчетное количество болтов или нагелей в ряду вдоль волокон;

a_1 – шаг болтов/нагелей вдоль волокон;

d – диаметр болта/нагеля;

n – количество болтов/нагелей в ряду.

б) нагруженных поперек волокон.

При нагружении поперек волокон в соединениях с одной или двумя плоскостями сдвига, снижения несущей способности не наблюдается, тогда

$$n_{ef} = n \quad (9.41)$$

с) нагруженных под углом к волокнам.

Несущая способность вдоль волокон или поперек волокон должна определяться таким же способом, как для гвоздей, в соответствии с требованиями пункта п. 9.1.5.14с) настоящего пособия. Для углов $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ n_{ef} может определяться линейной интерполяцией.

– для соединений на винтах:

Если диаметр винта гладкой части равен 6мм или меньше, то при определении n_{ef} следует применять правила как для гвоздей, а если больше 6мм – правила как для болтов.

9.1.5.15 Если соединение подвержено действию кратковременных знакопеременных усилий, то характеристическая несущая способность не будет изменяться.

Если соединение подвержено действию знакопеременных усилий, вызванных действием длительных и среднесрочных воздействий, то характеристическая несущая способность соединения будет понижаться. В этом случае, если расчетное усилие в соединении меняет знак от растяжения на сжатие, то соединение должно рассчитываться на следующие усилия

$$N_{t,Ed} = (F_{t,Ed} + 0,5 F_{c,Ed}), \quad (9.42)$$

$$N_{c,Ed} = (F_{c,Ed} + 0,5 F_{t,Ed}), \quad (9.43)$$

где $F_{t,Ed}$ –растягивающее усилие;

$F_{c,Ed}$ –сжимающее усилие;

$N_{t,Ed}$ – расчетное растягивающее усилие;

$N_{с,Ed}$ – расчетное сжимающее усилие.

9.1.5.16 Расчетное значение несущей способности поперечно нагруженного соединения с металлическими нагелями определяется в предположении, что в соединении, расчетная несущая способность при сдвиге крепежных элементов, будет всегда превышать расчетную несущую способность, определяемую из выражений несущей способности древесины/плиты для соответствующих типов крепежных элементов. Если необходимо определять несущую способность при срезе крепежного элемента, то она должна определяться в соответствии с требованиями СН РК EN 1993-1-1:2005/2011.

9.1.5.16.1 Расчетное значение несущей способности поперечно нагруженного соединения с металлическими нагелями при действии усилий вдоль волокон, определяется по формуле

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} F_{v,Rk}}{\gamma_M}, \quad (9.44)$$

где k_{mod} – поправочный коэффициент, принимаемый из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1). Если соединение включает два деревянных элемента, то значения $k_{mod,1}$ и $k_{mod,2}$ должны определяться как $k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} \cdot k_{mod,2}}$;

γ_M – частный коэффициент для соединений, принимаемый из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 2.3).

$F_{v,Rk}$ – характеристическая несущая способность крепежного элемента в плоскости сдвига при поперечном нагружении, т.е. наименьшее значение, получаемое из соответствующих выражений, приведенных в Таблицах 34 и 35.

Для соединения, состоящего из r_{pl} рядов поперечно нагруженных крепежных элементов, расположенных вдоль волокон, каждый из которых включает n крепежных элементов одинакового размера с одинаковыми расстояниями, при расчетной прочности каждого элемента в плоскости сдвига $F_{v,Rd}$, расчетная несущая способность соединения вдоль волокон $F_{v,ef,Rd}$ будет равна:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{sp} r_{pl} n_{ef} F_{v,Rd}, \quad (9.45)$$

где n_{ef} – расчетное количество крепежных элементов в каждом ряду соединения вдоль волокон;

n_{sp} – количество плоскостей сдвига в соединении.

9.1.5.16.2 Расчетное значение несущей способности поперечно нагруженного соединения с металлическими нагелями, при действии усилий поперек волокон, должно определяться из двух условий прочности:

– прочности древесины в результате раскалывания при растяжении поперек волокон (данное условие описано в п. 9.1.5.12 настоящего пособия);

– текучести крепежного элемента. Для этого условия, при количестве r_{pr} рядов крепежных элементов, когда каждый ряд включает n крепежных элементов одинакового размера, то

$$F_{v,ef,Rd} = n_{sp} r_{pr} n F_{v,Rd}, \quad (9.46)$$

где $F_{v,ef,Rd}$ – принятая расчетная несущая способность крепежного элемента в плоскости сдвига при их поперечном нагружении и действии усилий поперек волокон;

n_{sp} – количество плоскостей сдвига в соединении;

n – количество крепежных элементов в каждом ряду крепежных элементов поперек волокон. Если используются гвозди внахлестку, то n будет равно числу гвоздей внахлестку;

$F_{v,Rd}$ – расчетная несущая способность поперечно нагруженного одного крепежного элемента в плоскости сдвига при действии усилий поперек волокон. Для гвоздей и скоб $d \leq 8$ мм, а так же для шурупов с гладкой частью $d \leq 6$ мм, несущая способность будет такой же, как для крепежного элемента при действии усилий вдоль волокон. Для болтов и нагелей, а так же для шурупов $d > 6$ мм и гвоздей $d > 8$ мм в соединениях с использованием LVL, несущая способность, определяемая из выражений Таблиц 34 и 35, должна определяться с учетом требований Формулы (8.31) в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, где характеристическая прочность при вдавливании древесины или LVL в соединении равняется:

$$f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0k}}{k_{90}} \quad (9.48)$$

Для данного случая расчетная несущая способность соединения $F_{v,ef,Rd}^*$, нагруженного поперек волокон, будет равна:

$$F_{v,ef,Rd}^* = \min \begin{cases} F_{90,Rd} \\ F_{v,ef,Rd} \end{cases}, \quad (9.49)$$

где $F_{90,Rd}$ – расчетная несущая способность, определяемая из выражения (9.35).

9.1.5.17 При расчете деревянных конструкций по предельным состояниям несущей способности (SLS) и эксплуатационной пригодности (ULS) с соединениями нагельного типа, должны учитываться жесткости (податливости) соединений, которые сказываются на распределении усилий между элементами конструкции. Согласно требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 смещения в соединениях узлов конструкции должны учитываться при любом расчете перемещений конструкции. Величинами, позволяющими учитывать жесткости таких соединений, при расчете деревянных конструкций по предельным состояниям USL, являются значения модуля податливости K_{ser} , а при расчете по предельным состояниям эксплуатационной пригодности – K_u .

9.1.5.17.1 В соединениях нагельного типа, под действием поперечной нагрузки на соединительный элемент, возникают смещения между соединяемыми элементами из-за

допусков, установленных для сборки соединения, текучести крепежных элементов или смятия материала соединяемых элементов (древесины или материалов на ее основе). При расчетах следует учитывать, что величина смещения зависит от типа крепежного элемента и может быть определена из диаграмм «нагрузка-смещение». Типичные диаграммы «нагрузка-смещение» для соединений на гвоздях (шурупах), болтовых соединений приведены на Рисунке 40.

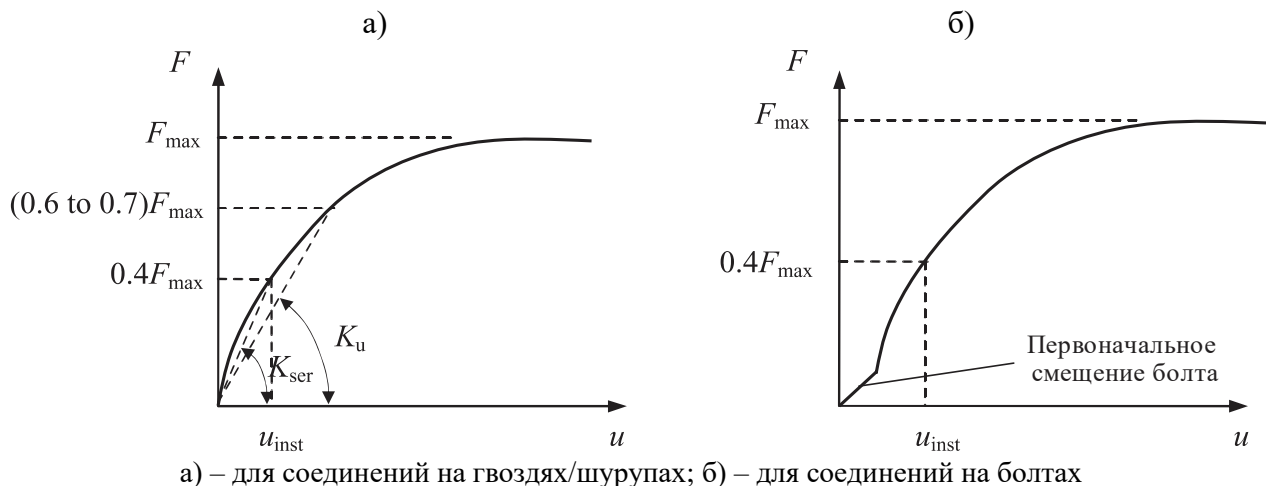


Рисунок 40 – Диаграммы «нагрузка-смещение» для соединений с крепежными элементами нагельного типа

Учитывая, что для древесины, отношение модуля упругости к прочности имеет относительно малую величину, то для большинства конструкций, определяющим, при расчете выносливости деревянной конструкции, является соблюдение условия жесткости. Жесткость крепежного элемента определяется как отношение его поперечной нагрузки в плоскости сдвига к его смещению, т.е. имея эту зависимость, может быть определено смещение под действием любой нагрузки. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 эта характеристика жесткости называется модулем податливости. Разные значения K_{ser} для SLS (K_u для ULS) приведены в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Ограничений для смещения в узле не установлено. Это позволяет проектировщику выбрать значение, которое будет приемлемым для рассчитываемой конструкции.

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 мгновенный модуль податливости K_{ser} для расчета по предельным состояниям SLS принимается равным моменту сопротивления сечения, соответствующему нагрузке равной 40 % от максимального ее значения на диаграмме «нагрузка-смещение» (Рисунок 40).

Из результатов большого количества испытаний разными исследователями было определено мгновенное смещение при нагрузке, составляющей 40% от ее максимального значения. Учитывая формы разрушения, при которых наступает текучесть крепежных элементов и смятие древесины или материалов на ее основе (формами (f) и (k) в Таблице 34), которые являются наиболее распространенными в оптимально рассчитанных соединениях, оценка несущей способности узла определяется путем умножения результата на 0,4. Из этих данных, для металлических связей разных нагельных типов,

был определен модуль податливости K_{ser} в плоскости сдвига крепежного элемента при эксплуатационной нагрузке. Выражения по определению K_{ser} приведены в Таблице 43.

Таблица 43 – Значения K_{ser} в Н/мм для крепежных элементов в соединениях «древесина- древесина» и «древесина-плита на основе древесины» *

Тип используемого крепежного элемента	Модуль скольжения по SLS, K_{ser}
Гвозди	
Без предварительного сверления	$\rho_m^{1.5} d^{0.8} / 30$
С предварительным сверлением	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Скобы	$\rho_m^{1.5} d^{0.8} / 80$
Шурупы	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Болты с зазорами и без зазоров **	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Нагели	$\rho_m^{1.5} d / 23$
<p>* На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 7.1). ** Если существует допуск на зазоры для болта, то они должны быть добавлены к смещению соединения.</p>	

9.1.5.17.2 Значение K_{ser} зависит от диаметра крепежного элемента d (мм) и средней плотности ρ_m (кг/м³) материала соединяемых элементов. Если соединение состоит из элементов с разными плотностями ρ_{m1} и ρ_{m2} , то ρ_m , которое должно использоваться в выражениях Таблицы 43, будет следующим:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m1} \rho_{m2}} \quad (9.50)$$

9.1.5.17.3 Общая величина мгновенного смещение в соединении u_{inst} , состоящего из двух элементов, равняется сумме смещений u_{inst1} в элементе 1 и u_{inst2} в элементе 2 (Рисунок 41).

$$u_{inst} = u_{inst1} + u_{inst2} \quad (9.51)$$

Если элементы имеют одинаковые характеристики, то

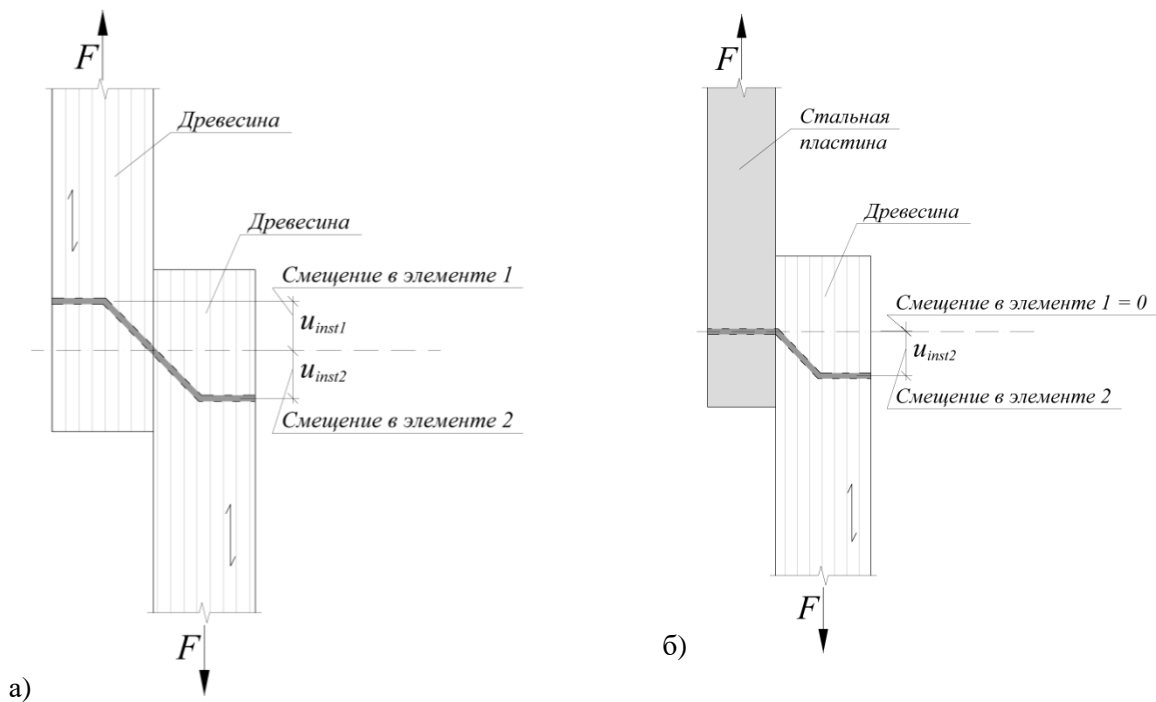
$$u_{inst} = u_{inst2} + u_{inst2} = 2 u_{inst2} \quad (9.52)$$

Если один из элементов изготовлен из стали, то смещение в стальном элементе равно нулю, а в элементе 2 равно u_{inst2} . Тогда общая величина смещения в соединении равна:

$$u_{inst} = 0 + u_{inst2} = u_{inst2} \quad (9.53)$$

Для соединений «сталь-древесина» мгновенное смещение будет составлять половину значения в соединении «древесина - древесина». Поэтому их жесткость будет теоретически равна двойному значения модуля податливости соединения «древесина -

древесина», т.е. $2 \cdot K_{ser}$. Это является приближением к реальному поведению соединения, поскольку не учитывается зазор между крепежным и стальным элементами. Вращение крепежного элемента в стальном элементе и текучесть стального элемента не учитываются, что приводит к завышению жесткости. В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (7.1(3)) указано, что модуль податливости для соединений «сталь-древесина» и «бетон-древесина» может приниматься равным $2 \cdot K_{ser}$, если рассчитываемая конструкция чувствительна к отклонениям, рекомендуется использовать меньшее значение.



а) – нагруженное соединение «древесина-древесина»;

б) – нагруженное соединение «сталь-древесина»

Рисунок 41 – Схема мгновенных смещений в соединении

9.1.5.17.4 При определении несущей способности соединения с несколькими металлическими крепежными элементами нагельного типа, в выражении несущей способности узла используется фактическое число крепежных элементов в соединении, а при вычислении несущей способности вдоль волокон, должно использоваться расчетное число крепежных элементов n_{ef} . В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 не приведено рекомендаций по значению, необходимому для определения жесткости соединения. Поэтому, независимо от угла приложения нагрузки по отношению к волокнам, для соединений с одной или двумя плоскостями сдвига, рекомендуется всегда использовать фактическое количество крепежных элементов n .

Значения жесткости соединений, содержащих крепежных элементов в плоскости сдвига, $K_{ser,sc}$ для односрезных и $K_{ser,dc}$ – для двухсрезных соединений определяются:

а) для соединения, состоящего из n крепежных элементов с одной плоскостью сдвига (Рисунок 42а);

$$K_{ser,sc} = nK_{ser}, \quad (9.54)$$

б) для соединения, состоящего из n крепежных элементов и двумя плоскостями сдвига (Рисунок 42б);

$$K_{\text{ser,dc}} = 2nK_{\text{ser}}, \quad (9.55)$$

в) для узла с двумя соединениями с одной плоскостью сдвига (Рисунок 42в);

$$K_{\text{ser,sc}} = 1/(1/K_{\text{ser,sc1}} + 1/K_{\text{ser,sc2}}), \quad (9.56)$$

г) для узла с двумя соединениями и двумя плоскостями сдвига (Рисунок 42г);

$$K_{\text{ser,dc}} = 1/(1/K_{\text{ser,dc1}} + 1/K_{\text{ser,dc2}}), \quad (9.57)$$

где K_{ser} – жесткость крепежного элемента в плоскости сдвига, определяемая из выражений Таблицы 43;

$K_{\text{ser,sc}}$ – жесткость соединения для одной плоскости сдвига;

$K_{\text{ser,dc}}$ – жесткость соединения для двух плоскостей сдвига;

$K_{\text{ser,sc1}}$ – жесткость соединения 1 для одной плоскости сдвига в узле, равная n_1K_{ser} ;

$K_{\text{ser,sc2}}$ – жесткость соединения 2 для одной плоскости сдвига в узле, равная n_2K_{ser} ;

$K_{\text{ser,dc1}}$ – жесткость соединения 1 для двух плоскостей сдвига в узле, равная $2n_1K_{\text{ser}}$;

$K_{\text{ser,dc2}}$ – жесткость соединения 2 для двух плоскостей сдвига в узле, равная $2n_2K_{\text{ser}}$.

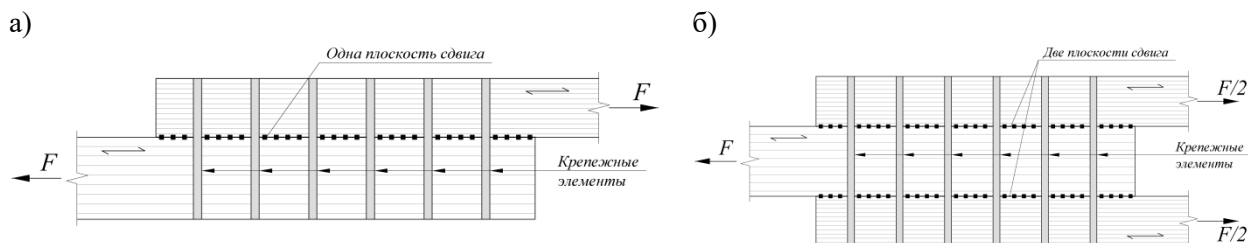
9.1.5.17.5 Для соединений с одним крепежным элементом и одной плоскостью сдвига, величина смещения определяется из выражения

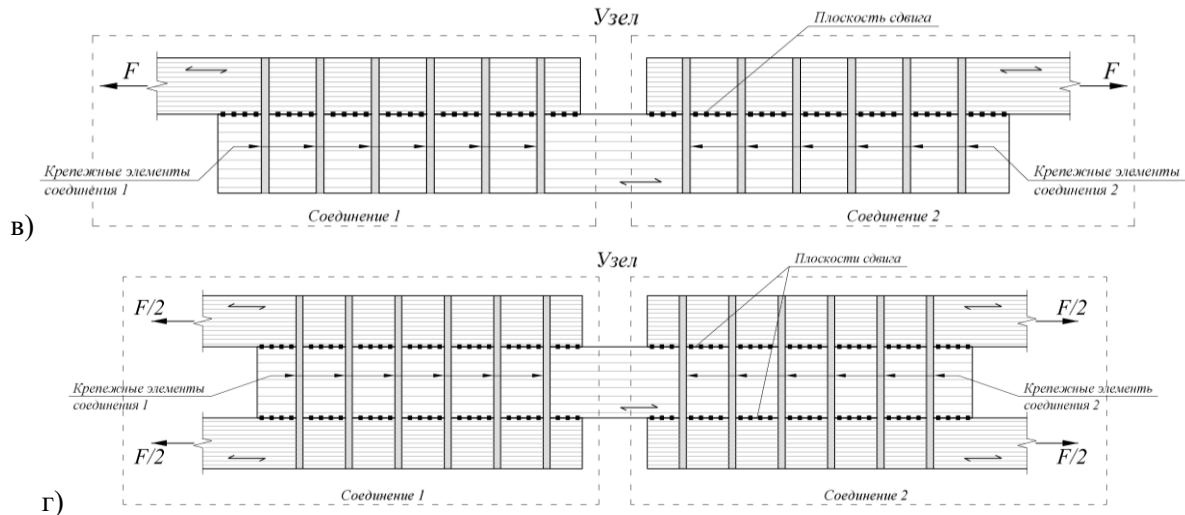
$$u_{\text{inst}} = \frac{F}{K_{\text{ser}}} + c, \quad (9.58)$$

где F – нагрузка по предельному состоянию SLS, действующая на соединение;

K_{ser} – модуль податливости крепежного элемента в плоскости сдвига в эксплуатационных условиях;

c – зазор (допуск), принимаемый для болтов 1 мм.





- а) – соединение с одной плоскостью сдвига;
 б) – соединение с двумя плоскостями сдвига;
 в) – узел с двумя соединениями с одной плоскостью сдвига;
 г) – узел с двумя соединениями с двумя плоскостями сдвига

Рисунок 42 – Схемы соединений с одной и двумя плоскостями сдвига

9.1.5.17.6 Если конструкция подвержена воздействию характеристической постоянной нагрузки G_k , доминирующей характеристической нагрузки $Q_{k,1}$ и сопутствующих независимых характеристических переменных нагрузок $Q_{k,i}$, то расчетная нагрузка F_d , действующая на соединение, по предельным состояниям SLS, будет определяться из расчета конструкции при действии комбинации характеристического нагружения, т.е.:

$$F_d = G_k + Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (9.59)$$

где $\psi_{0,i}$ – коэффициент сочетания в комбинации при действии переменной нагрузки $Q_{k,i}$, - определяемый согласно национальному приложению к СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011.

Для определения конечной деформации соединения в данном методе расчета должны учитываться зависимости характеристик материалов от времени как самих элементов соединений, так и элементов конструкции. Соответствующая методика для каждого условия приведена в Разделе 7.4 настоящего пособия (часть 1).

9.1.5.17.7 Для конструкций, которые включают элементы, компоненты и соединения с одинаковым поведением при ползучести, конечная деформация определяется применением комбинированной характеристической и практически постоянной комбинацией воздействий на конструкцию. В данном случае, расчетная нагрузка на соединение из характеристической комбинации F_{cd} , будет определяться из расчета конструкции при действии комбинированной характеристической и практически постоянной комбинаций, т.е.:

$$F_{cd} = G_k (1 + k_{def}) + Q_{k,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) + Q_{k,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}), \quad (9.60)$$

где $\psi_{2,i}$ – коэффициент сочетания для практически постоянного воздействия и практически постоянной комбинации, определенных в национальном приложении к СН РК EN 1990:2002+A1:2005/2011;

k_{def} – коэффициент деформации для древесины и материалов на ее основе для практически постоянных воздействий, определяемый из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2).

G_k , $Q_{k,1}$, $Q_{k,i}$ – были определены выше.

В этом случае, конечная деформация u_{fin} по предельным состояниям SLS соединения с одной плоскостью сдвига в конструкции, включающей элементы, компоненты и соединения, имеющие одинаковые характеристики ползучести, будет равна:

$$u_{inst} = \frac{F_{cd}}{K_{ser}} + c. \quad (9.60)$$

Формула (9.60) применима в случае статически определимых конструкций (например, ферм с шарнирными узлами) и если соединения имеют не совпадающие с элементами характеристики ползучести.

9.1.5.17.8 Для конструкций, которые включают элементы и соединения с различными характеристиками ползучести, требования п. 9.1.5.17.6, по определению конечной деформации неприемлемы. В этом случае, конечная деформация будет определяться из расчета конструкции, подверженной действию характеристической комбинации нагрузок, а характеристики жесткости элементов и соединений определяются по формулам

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1 + k_{def})}, \quad (9.61)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1 + k_{def})}, \quad (9.62)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1 + k_{def})}, \quad (9.63)$$

где $E_{mean,fin}$ – окончательное среднее значение модуля упругости;

E_{mean} – среднее значение модуля упругости;

$G_{mean,fin}$ – окончательное среднее значение модуля сдвига;

G_{mean} – среднее значение модуля сдвига;

$K_{ser,fin}$ – окончательный модуль податливости;

K_{ser} – модуль податливости, определяемый из выражений Таблицы 43;

k_{def} – коэффициент деформации изделий из древесины и материалов на ее основе.

Для соединений он принимается по СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2).

Коэффициент k_{def} может принимать следующие значения:

1) если соединение включает деревянные элементы с одинаковой ползучестью, то k_{def} должен приниматься равным удвоенному значению, приведенному в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2);

2) если соединение включает два элемента на основе древесины с разной ползучестью, k_{def} должен приниматься равным:

$$k_{\text{def}} = 2\sqrt{k_{\text{def},1} k_{\text{def},2}} \quad , \quad (9.64)$$

где $k_{\text{def},1}$ и $k_{\text{def},2}$ – коэффициенты деформации для соответствующих элементов на основе древесины;

3) если влажность используемой древесины достигает предела ее гигроскопичности и в условиях эксплуатации она способна высохнуть, значение k_{def} , приведенные в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.2), принимаются равными 1,0.

9.1.5.17.9 Для конструкций по предельным состояниям ULS, процедура расчета будет зависеть от того, влияет ли на распределение усилий в элементах конструкции распределение жесткости. Если узлы в конструкции рассчитываются как не шарнирные, распределение результирующего усилия в элементах будет определяться распределением жесткости и при расчете усилий по предельным состояниям ULS должны использоваться конечные средние значения параметров жесткости, которые определяются по формулам

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad , \quad (9.65)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad , \quad (9.66)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad , \quad (9.67)$$

где ψ_2 – значение коэффициента практически-постоянного воздействия, вызывающего наибольшее напряжение. Если это является постоянным воздействием, то используют значение равное 1. Если определение ψ_2 считается сложным, то допускается принимать в качестве коэффициента значение 1 (значение ψ_2 см. в Таблице 2 часть 1 настоящего пособия).

В соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, для расчетов значение K_u должно приниматься следующим:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}, \quad (9.68)$$

где K_{ser} – мгновенный модуль податливости крепежного элемента в плоскости сдвига, представленный в Таблице 43.

Для предельных состояний ULS необходимо определить только деформацию элементов конструкции, в которых существует риск, что перемещение в таком состоянии может привести к недопустимым последствиям, т.е. подтверждая деформацию систем решеток или выполняя проверку деформаций, которые могут привести к недопустимому разрушению, приводящему к опасности для объекта.

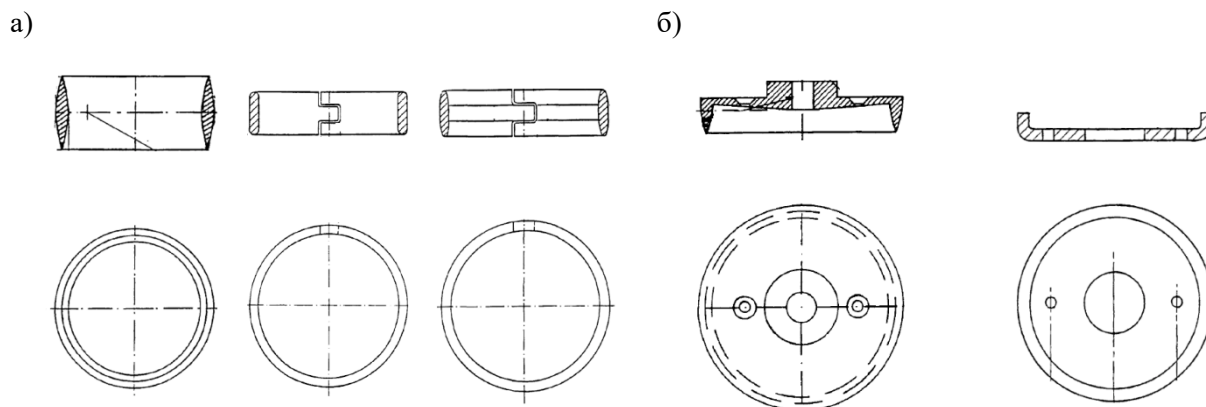
9.1.5.18 Расчет деревянных конструкций (рамы, фермы и т.п.) с соединениями в узлах на механических связях должен выполняться с учетом податливости узлов. Если конструкция является статически неопределимой, то смещения в соединениях влияют на распределение усилий в элементах конструкции. Если соединения обладают различной ползучестью, то учитывая эффект перемещения конструкции в конечном деформированном состоянии, результирующие усилия по предельным состояниям ULS будут изменяться и должны быть определены расчетом.

При расчете конструкций с использованием программных комплексов, поведение при смещении в соединениях может быть учтено введением линейно упругого пружинного элемента в каждом измененном соединении с осевой жесткостью, равной поперечной жесткости соединения. Также могут быть замоделированы пружинные элементы с крутильной жесткостью, имитирующей полужесткое поведение при кручении.

9.2 Расчет соединений с использованием металлических шпонок

В СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 под шпонками следует понимать связи, представляющие собой зубчатые пластины, диски или кольца, которые частично вдавлены или врезаны в деревянные элементы соединения и фиксируются стяжным болтом. Они используются для соединений, воспринимающих поперечные нагрузки. Нагрузка в таких соединениях распределяется между элементами в виде смятия по контактирующим поверхностям. Такие соединения могут воспринять существенно большую нагрузку по сравнению с металлическим крепежным элементом нагельного типа.

Из нескольких типов связей, для соединения элементов деревянных конструкций, наиболее часто применяются зубчатые пластины, разрезные кольцевые шпонки и круглые пластинчатые шпонки (Рисунок 43). Параметры и требования к материалам для этих видов связей приведены в EN 912, а расчетные положения в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, для каждого из перечисленных типов.



а) – двусторонние кольцевые шпонки; б) – односторонние кольцевые шпонки

Рисунок 43 – Общий вид кольцевых шпонок (связей).

Соединения, образованные связями, должны удовлетворять соответствующим расчетным положениям и требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Требования по прочности и деформациям для связей такие же, как и для металлических связей нагельного типа, которые были приведены в Разделе 9.1 настоящего пособия

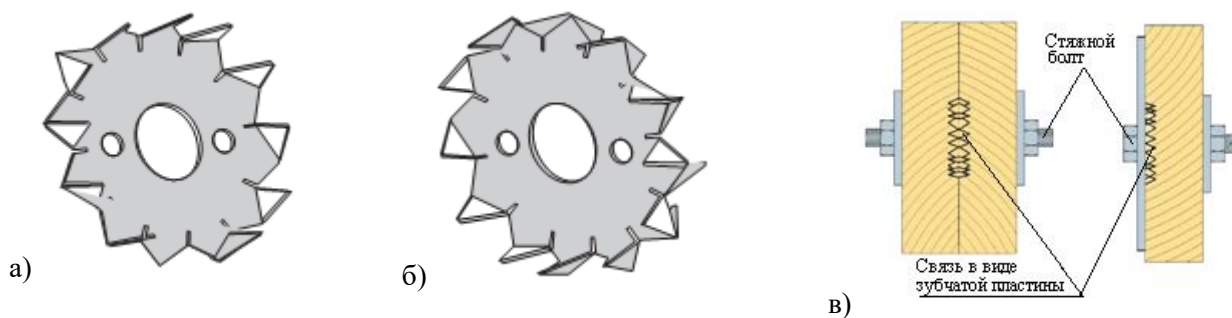
9.2.1 Связи в виде зубчатых пластин

9.2.1.1 Зубчатые пластины по своей форме бывают круглыми, квадратными, восьмиугольными и в виде других форм с размерами от 38 до 165 мм. Существует 11 типов зубчатых пластин. В EN 912 каждый тип имеет свою маркировку от C1 до C11. Каждый тип зубчатой пластины классифицируется по форме и используемому материалу. По расположению зубьев пластины бывают односторонние или двусторонние.

В зависимости от типа связи, зубчатая пластина может быть изготовлена из холоднокатаной непокрытой низкоуглеродистой стали, мягкой стали с цинкованием по методу горячего погружения или ковкого чугуна. Пример зубчатых связей в виде стальных пластин с зубьями, приведены на Рисунке 44.

Односторонние зубчатые пластины используются для соединения элементов из древесины. Если соединение должно быть разъемным, то в соединении «древесина-древесина» используются односторонние зубчатые пластины. Двусторонние зубчатые пластины используются в неразъемных соединениях «древесина- древесина».

Зубчатые пластины типов C2, C4, C7, C9 и C11 являются односторонними, а пластины типов C1, C3, C5, C6, C8 и C10 – двухсторонними. Для каждого типа пластин характерны разные значения несущей способности при их использовании в соединении.



а) – общий вид односторонней зубчатой пластины; б) – общий вид двухсторонней зубчатой пластины; в) – общий вид соединения с использованием зубчатых пластин

Рисунок 44 – Общий вид зубчатых пластин

9.2.1.2 При сборке соединения с использованием зубчатых пластин, в элементах просверливаются отверстия под болты. Связь располагается в необходимом положении, а затем соединение подвергается механическому сжатию. Если используется древесина с относительно небольшой плотностью, сжатие осуществляется путем натяжения высокопрочных болтов с большими шайбами. После сжатия пластины до требуемого положения стяжной болт и его шайбы фиксируются. Зубья пластины должны быть вдавлены в древесину полностью. Поскольку сопротивление древесины проникновению зубьев пластины будет возрастать с увеличением плотности древесины, их следует применять для соединений элементов, характеристическая плотность которых не превышает 500 кг/м^3 .

9.2.1.3 При расчете соединений, выполненных с использованием связей в виде зубчатых металлических пластин, следует руководствоваться требованиями, приведенными в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 8.10).

Несущая способность соединения определяется комбинацией усилий, воспринимаемых зубчатой пластиной и болтом. Из-за того, что прочность болта на срез значительно превышает прочность анкеровки пластины в древесине, в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, при определении несущей способности соединения, прочность болта на срез не учитывается.

9.2.1.4 Во избежание хрупкого разрушения соединения, выполненного с использованием связей в виде зубчатых металлических пластин, как и в случае металлических крепежных элементов нагельного типа, должны быть соблюдены указания по их расстановке. Минимальные расстояния от торца и кромки соединяемых элементов для зубчатых пластин, приведены в Таблице 44, а шаг стяжных болтов должен приниматься из Таблицы 41. Что касается толщины соединяемых элементов (Рисунок 45), то она должна быть

$$t_1 \geq 2,25h_e, \quad (9.68)$$

$$t_2 \geq 3,75h_e, \quad (9.69)$$

где t_1 – толщина внешнего деревянного элемента соединения;

t_2 – толщина внутреннего деревянного элемента соединения;

h_e – глубина вдавливания зубьев пластины в рассматриваемый элемент соединения, мм. Для двухсторонних связей $h_e = (h_c - t)/2$ и для односторонних связей $h_e = (h_c - t)$. Здесь h_c – длина зубьев пластины, а t – толщина листа пластины.

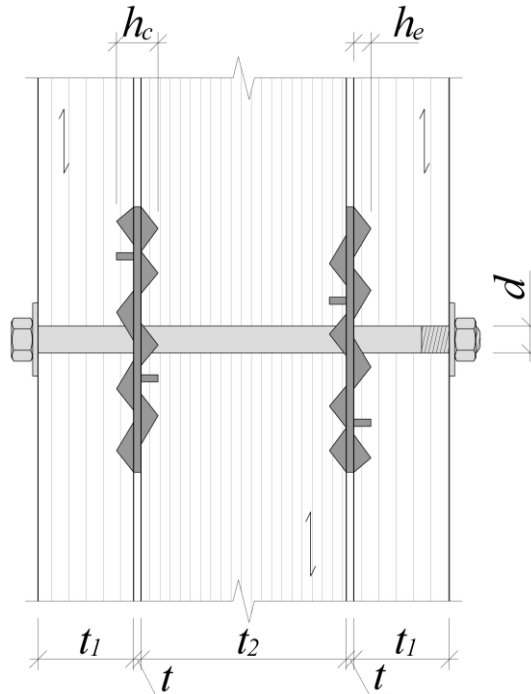


Рисунок 54 – Общий вид соединений с зубчатыми пластинами

9.2.1.5 Характеристическая несущая способность соединения с использованием зубчатой пластины определяется из формулы

$$F_{v,Rk,connect} = F_{v,Rk} + F_{v,Rk,bolt} , \quad (9.70)$$

где $F_{v,Rk,connect}$ – характеристическая несущая способность зубчатого соединения, Н;

$F_{v,Rk}$ – характеристическая несущая способность зубчатой пластины, Н;

$F_{v,Rk,bolt}$ – характеристическая несущая способность стяжного болта, Н.

Несущая способность поперечно нагруженных зубчатых пластин не зависит от направления прикладываемого усилия по отношению к волокнам. Учитывая, что прочность на изгиб стяжного болта зависит от угла прикладываемого усилия по отношению к волокнам, поэтому это обстоятельство должно учитываться в расчетах таких соединений.

Таблица 44 – Минимальные размеры и расстояния от торца элемента до центра отверстия для зубчатых пластин типов C1-C11, разрезных кольцевых шпонок и кольцевых шпонок с фланцем, указанные в EN 912*

Шаг, расстояния и угол α^{**} (см. Рисунок 44 и 54)	Минимальные размеры шага и расстояний		
	Зубчатые связи в виде пластин		Разрезные кольцевые шпонки и кольцевые шпонки с фланцем
	Типы от C1 до C9	Типы от C10 до C11	
Шаг вдоль волокон – a_1 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2+0,3 \cos\alpha)d_c$	$(1,2+0,8 \cos\alpha)d_c$	$(1,2+0,8 \cos\alpha)d_c$
Шаг поперек волокон – a_2 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_c$	$1,2 d_c$	$1,2 d_c$
Расстояние до нагруженного торца – $a_{3,t}$ $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2,0 d_c$	$2,0 d_c$	$1,5 d_c$
Расстояние до ненагруженного торца $a_{3,c}$ $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9+0,6 \sin\alpha)d_c$ $1,2 d_c$ $(0,9+0,6 \sin\alpha)d_c$	$(0,4+1,6 \sin\alpha)d_c$ $1,2 d_c$ $(0,4+1,6 \sin\alpha)d_c$	$(0,4+1,6 \sin\alpha)d_c$ $1,2 d_c$ $(0,4+1,6 \sin\alpha)d_c$
Расстояние до нагруженной кромки $a_{4,t}$ $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6+0,2 \sin\alpha)d_c$	$(0,6+0,2 \sin\alpha)d_c$	$(0,6+0,2 \sin\alpha)d_c$
Расстояние до ненагруженной кромки $a_{4,c}$ $180^\circ \leq \alpha \leq 380^\circ$	$0,6 d_c$	$0,6 d_c$	$0,6 d_c$
<p>* На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011(Таблицы 8.7, 8.8 и 8.9). ** Угол между направлением реакции связи и волокнами.</p>			

Значение характеристической несущей способности $F_{v,Rk}$ зубчатой пластины определяется из Формулы

$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 18k_1k_2k_3d_c^{1,5} & \text{для односторонних типов} \\ 25k_1k_2k_3d_c^{1,5} & \text{для двухсторонних типов} \end{cases} \quad (9.71)$$

где $F_{v,Rk}$ – характеристическая несущая способность зубчатой связи, Н;

d_c – диаметр зубчатой пластины для типов C1, C2, C6, C7, C10 и C11, мм; для зубчатой пластины типов C5, C8 и C9 – это длина стороны, мм и для зубчатой пластины типов C3 и C4 – это квадратный корень из произведения длин обеих сторон, мм;

k_1 – поправочный коэффициент, зависящий от толщины элемента соединения и определяемый из выражения

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{cases}, \quad (9.72)$$

здесь t_1 и t_2 определяются в соответствии с Рисунок 53;

h_e – глубина проникновения зубьев, мм. Несущая способность соединения достигает 75% от ее максимального значения при использовании минимально допустимых значений t_1 и t_2 . Кроме того, если t_1 и t_2 превышают $3h_e$ и $5h_e$, соответственно, то несущая способность соединения не будет возрастать при изменении t_1 и t_2 ;

k_2 – поправочный коэффициент, зависящий от расстояния до нагруженного торца $a_{3,t}$, а для элементов со скошенным торцом, расстояние может быть принято в соответствии с Рисунок 46. Данный коэффициент применяется только для элементов с нагруженным торцом и зависит от типа зубчатой пластины. Для типов С1-С9 минимальная величина расстояния до нагруженного торца составляет $2d_c$ по Таблице 44. Допустимо и меньшее расстояние, но не менее $1,1d_c$ и не менее минимальной величины расстояния до нагруженного торца для болтов (Таблица 41). Если расстояние до нагруженного торца меньше $2d_c$, значение k_2 должно определяться из выражения

$$k_2 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1,5d_c} \end{cases}, \quad (9.73)$$

$$a_{3,t} = \max \begin{cases} 1,1d_c \\ 7d \\ 80 \end{cases}, \text{ мм} \quad (9.74)$$

здесь d – диаметр болта, мм; d_c был определен выше, мм;

Если минимальная величина расстояния до нагруженного торца, необходимая для стяжного болта, больше минимальной величины до нагруженного торца, необходимого для зубчатой пластины, то k_2 принимается равным 1 при расстоянии до нагруженного торца больше $1,5d_c$. Данный коэффициент будет меньше 1 лишь в том случае, когда расстояние меньше $1,5d_c$ и уменьшается до 0,73 при допустимом расстоянии до нагруженного торца $1,1d_c$.

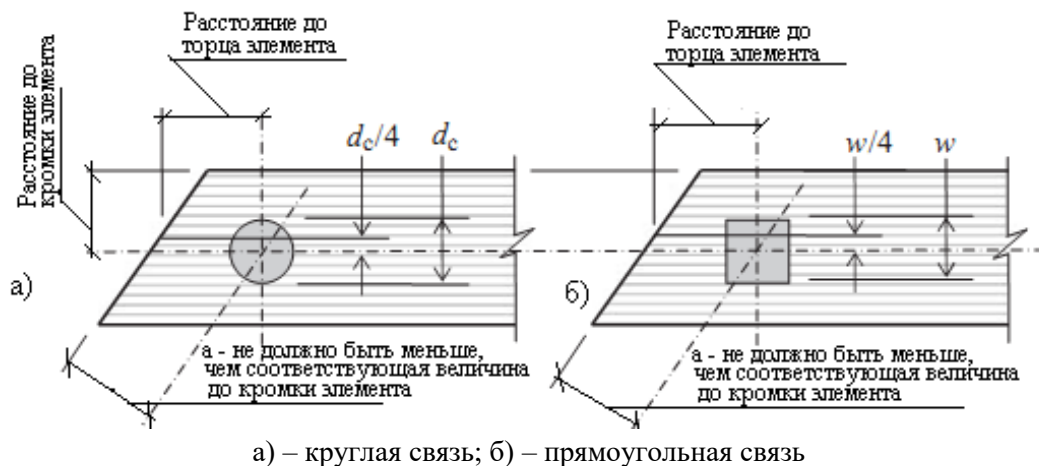


Рисунок 46 – Расстояния от кромки и торца элемента до центра отверстия связи

Для типов зубчатых пластин С10 и С11 расстояние до нагруженного торца $a_{3,t}$ может быть уменьшено только до $1,5d_c$, т.е.:

$$k_2 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{cases}, \quad (9.75)$$

и

$$a_{3,t} = \max \begin{cases} 1,5d_c \\ 7d \\ 80 \end{cases} \text{ мм}, \quad (9.76)$$

здесь d_c и d – были определены выше.

Для этих связей, если минимальная величина расстояния от стяжного болта до нагруженного торца меньше соответствующей величины для зубчатой пластины, то k_2 будет равен 1, при расстоянии до нагруженного торца $2,0d_c$ (или более). Данная величина может уменьшаться до 0,75 при минимально допустимом расстоянии до нагруженного торца $1,5d_c$;

k_3 – коэффициент, зависящий от плотности древесины и определяемый по формуле

$$k_3 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases}, \quad (9.77)$$

где ρ_k – характеристическая плотность древесины в соединении, кг/м³.

Формула для несущей способности (9.71) дано для соединения, в которой характеристическая плотность древесины составляет 350 кг/м³, т.е. класс прочности – С14 по EN 338. Коэффициент k_3 повышает прочность связи при использовании древесины более высокого класса прочности, достигая максимального увеличения на 50 % при характеристической прочности 525 кг/м³. Это относится ко всем классам прочности

хвойных пород по EN 338, а также к классу прочности D30 для лиственных пород. Такие связи допускается применять при классах прочности древесины D35 и D40.

Для зубчатых пластин типов C1, C2, C6 и C7, когда они расположены в шахматном порядке (Рисунок 47), минимальный шаг a_1 и a_2 по Таблице 44 может быть уменьшен путем использования коэффициентов k_{a1} и k_{a2} , соответственно:

- минимальное расстояние вдоль волокон принимается, как $k_{a1}a_1$;
 - минимальное расстояние поперек волокон принимается, как $k_{a2}a_2$;
- при условии, что

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1, \text{ если } \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases} \quad (9.78)$$

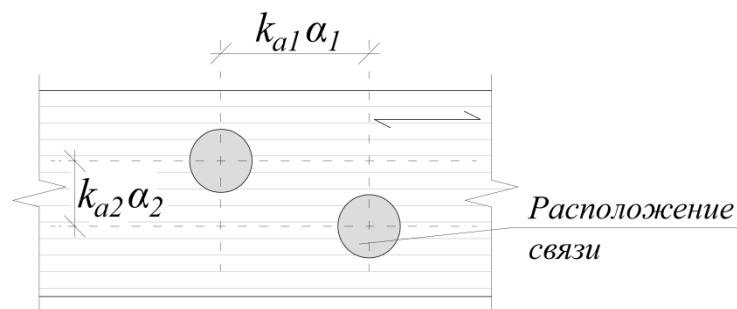


Рисунок 47 – Шахматное расположение связей

9.2.1.6 Если соединение содержит ряд связей, расположенных вдоль волокон, то согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 несущая способность такого соединения равна сумме несущей способности каждой из зубчатых пластин в ряду, которые нагружены в данном направлении.

Для соединений с одной или несколькими плоскостями сдвига, независимо от типа используемой связи, при определении несущей способности соединения, число связей на одну плоскость сдвига принимается равным числу стяжных болтов. Это применимо в случаях, когда связи нагружены вдоль либо поперек волокон. При определении несущей способности стяжных болтов, их число определяется согласно требованиям п. 9.1.5.14 настоящего пособия при действии усилия вдоль волокон, а при действии усилия поперек волокон – равняется фактическому числу стяжных болтов.

Используемые в соединениях стяжные болты и шайбы должны удовлетворять требованиям, изложенным в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (10.4.3).

9.2.2 Связи в виде кольцевых и круглых пластинчатых шпонок

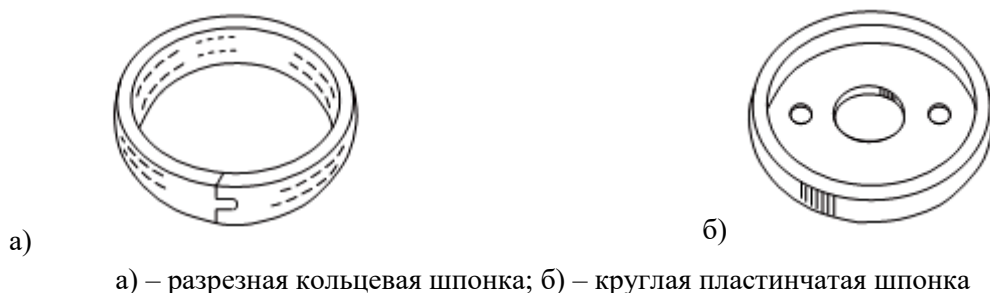
9.2.2.1 Кольцевые шпонки представляют собой круглые по форме изделия с гладкой наружной поверхностью. Шпонки могут изготавливаться из алюминиевого сплава, горячекатаной или закаленной листовой стали, серого чугуна или литого металла, в соответствии с требованиями EN 912. Устанавливаются шпонки в предварительно выфрезерованные в деревянных элементах пазы, которые точно повторяют профиль связи. Соединения на таких связях способны воспринимать значительно большие

нагрузки, чем соединения на зубчатых пластинах.

Выражения по определению характеристических значений несущей способности для данных типов соединений приведены в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 8.9) и применимы для соединений с диаметром шпонок не более 200 мм. Исключением являются три типа А5 разрезной кольцевой шпонки по EN 912, где $d_c = 216$ мм, 236 мм и 260 мм. Все другие типы шпонок, приведенные в стандарте, удовлетворяют указанному ограничению.

Кольцевые шпонки могут быть со сплошным поперечным сечением и шпонки содержащие разрез – разрезные. Разрезные шпонки более удобны при монтаже, поскольку их легче устанавливать в пазы, которые могут иметь разного рода отклонения, обусловленные как технологическим процессом, так и изменениями влажности древесины соединяемых элементов. Расчетные правила в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 одинаковы для сплошных и разрезных кольцевых шпонок.

9.2.2.2 Кольцевые шпонки следует применять только в соединениях «древесина-древесина» (Рисунок 48а). Они обозначаются как типы от А1 до А6 по EN 912. Такие связи закрепляются по месту болтами и шайбами, но в отличие от зубчатых пластин, болты с шайбами не работают как нагели, а выполняют функцию соединительного болта, обжимая кольцо в гнезде.



а) – разрезная кольцевая шпонка; б) – круглая пластинчатая шпонка

Рисунок 48 – Общий вид шпонок

9.2.2.3 Круглые пластинчатые шпонки (Рисунок 48б) используются в соединениях «древесина-сталь», «древесина-бетон», а также в разъемных соединениях, которые могут собираться на месте.

В EN 912 круглые пластинчатые шпонки обозначаются как типы от В1 до В6. Диаметры данных шпонок находятся в пределах от 65 до 190 мм. Закрепление шпонок осуществляется при помощи болтов с шайбами. В таких соединениях болт является одним из основных рабочих элементов и воспринимает усилия сдвига в соединении. Из-за того, что прочность при сдвиге болта, используемого в таких соединениях, всегда превышает прочность других элементов соединения, в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 не предполагается выполнять его проверку.

9.2.2.4 В соединении с круглой пластинчатой шпонкой нагрузка передается от одного элемента на шпонку, в виде контактных напряжений, а болт воспринимает напряжения смятия между шпонкой и болтом. Затем нагрузка передается от болта, в виде напряжений сдвига, на следующую шпонку. От шпонки, в соединении «древесина-сталь» («древесина-бетон»), нагрузка передается прямо на стальной (или бетонный) элемент. Пример использования такого типа соединения приведен на Рисунке 49.

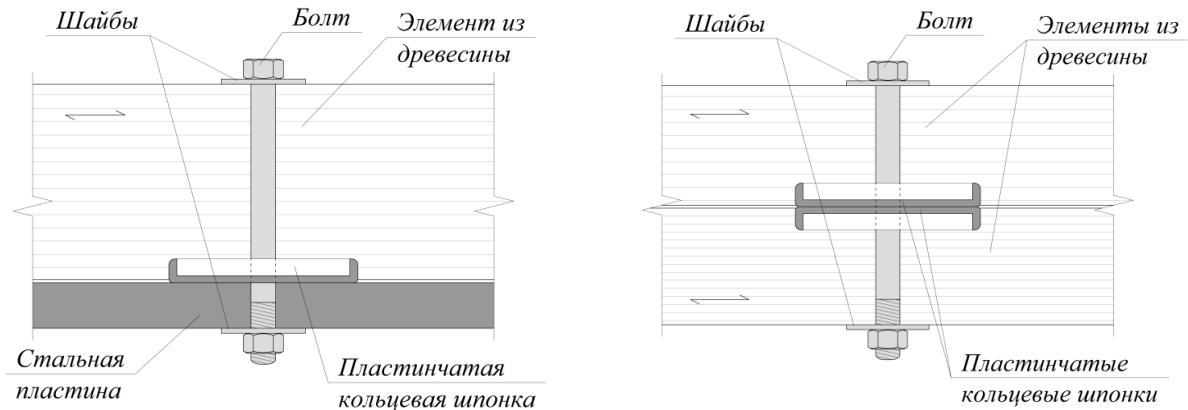


Рисунок 49 – Схемы узлов с круглыми пластинчатыми шпонками

9.2.2.5 Для предотвращения хрупкого разрушения соединений с использованием кольцевых шпонок, должны быть соблюдены требования, касающиеся шага и расстояний до торца и кромки соединяемых элементов, а также минимальная толщина соединяемых элементов. Требования по шагу и расстояниям приведены в Таблице 44.

Минимальная толщина соединяемых элементов определяется из Формул (9.68 и 9.69), как для зубчатых пластин. Соответствующие обозначения приведены на Рисунке 50.

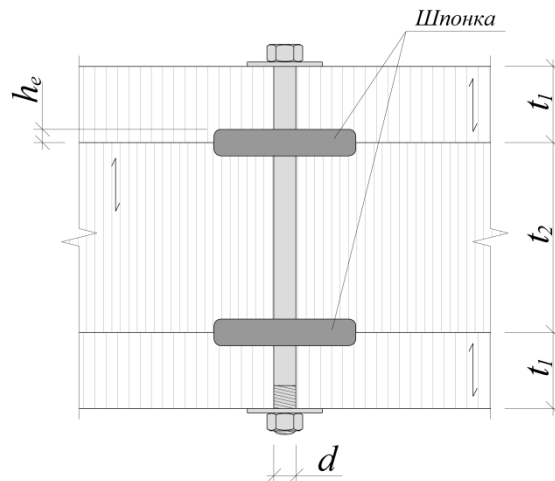


Рисунок 50 – Схемы узла со шпонками с обозначением размеров

9.2.2.6 При расстоянии до нагруженного торца $2d_c$, толщине внешнего элемента $3h_e$ и толщине внутреннего элемента - $5h_e$, характеристическая несущая способность для разрезной кольцевой шпонки и круглой пластинчатой шпонки, в случае соединения, состоящего из деревянных элементов с характеристической плотностью 350 кг/м^3 , определяется из двух условий:

– прочности сдвигаемой (скалываемой) части древесины на нагруженном торце при растяжении вдоль волокон

$$F_{Iv,0,Rk} = 35 \cdot d_c^{1.5}, \quad (9.79)$$

– прочности на смятие части древесины на нагруженном конце связи

$$F_{2v,0,Rk} = 31,5 \cdot d_c \cdot h_e, \quad (9.80)$$

где h_e – высота углубления используемого типа связи, мм.

Характеристическая несущая способность связи будет равна минимальному значению из Формул (9.79 и 9.80). Для соединения, в котором связь нагружена на незагруженном торце (Рисунок 51), т.е. при $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$, скалывания части древесины не возникнет, и несущая способность будет определяться только Формулой (9.80).

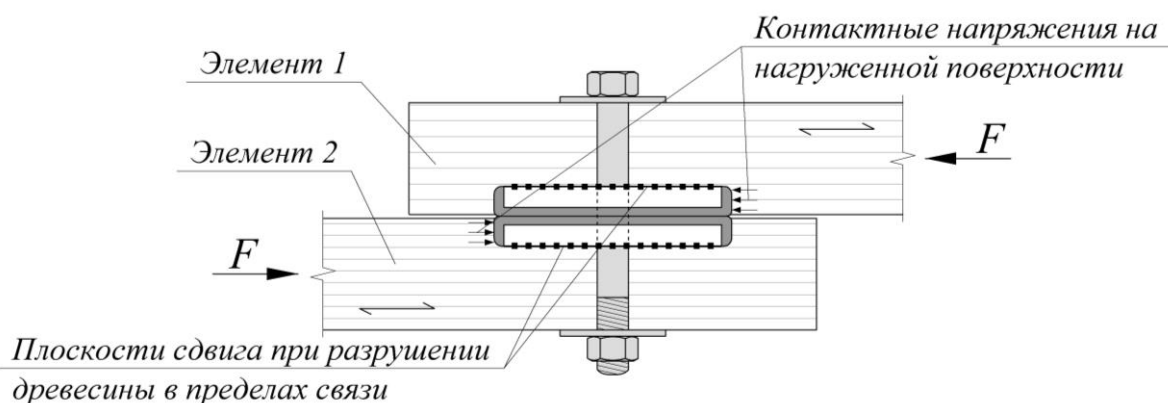


Рисунок 51 – Схема соединения с ненагруженными торцами

9.2.2.7 С целью оценки влияния толщины элемента на несущую способность соединения, расстояния до нагруженного торца, характеристической плотности древесины, увеличения прочности сдвигаемой части древесины при использовании металлического элемента в соединении, в Формулах (9.79 и 9.80), должны применяться поправочные коэффициенты. Характеристическая несущая способность вдоль волокон $F_{v,0,Rk}$ связи в плоскости сдвига с учетом этих коэффициентов, будет равна:

$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c^{1,5}) & (\text{сдвиг части древесины}) \\ k_1 k_3 (31,5 d_c h_e) & (\text{смятие древесины}) \end{cases} \quad (9.81)$$

где d_c – диаметр связи, мм;

k_1 – поправочный коэффициент, учитывающий толщину элемента и определяемый по формуле

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ t_1 / 3 h_e \\ t_2 / 5 h_e \end{cases}, \quad (9.82)$$

здесь t_1 и t_2 – толщины соединяемых элементов (Рисунок 58);

h_e – высота углубления в соединяемый элемент, мм. Несущая способность соединения будет понижаться до 25% если используются минимально допустимые значения t_1 и t_2 . При повышении t_1 и t_2 больше чем $3h_e$ и $5h_e$, соответственно, увеличения несущей способности соединения не произойдет.

k_2 – коэффициент, который применяется только при скалывании части древесины на нагруженном торце. При угле приложения нагрузки $-30^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ он равняется 1, а для всех остальных случаев определяется по формуле

$$k_2 = \min \left\{ k_a, a_{3,t} / 2d_c \right\}, \quad (9.83)$$

здесь $a_{3,t}$ – расстояние до нагруженного торца и определяемое по Таблице 37, а для элементов со скошенным торцом из Рисунка 54;

d_c – был определен выше;

$k_a = 1,25$ – для соединений с одной связью в плоскости сдвига. Для соединений с более чем одной связью в плоскости сдвига $k_a = 1,0$;

k_3 – поправочный коэффициент, который учитывает изменение плотности древесины и определяется по формуле

$$k_3 = \min \left\{ 1,75, \rho_k / 350 \right\}, \quad (9.84)$$

здесь ρ_k – характеристическая плотность древесины элемента в соединении, кг/м³.

k_4 – поправочный коэффициент, зависящий от материала стыкуемых элементов, относящийся только к выражению (9.81) для случая скалывания части древесины и определяется по формуле

$$k_4 = \min \begin{cases} 1,0 & \text{для соединений «древесина- древесина»} \\ 1,1 & \text{для соединений «сталь- древесина»} \end{cases} \quad (9.85)$$

9.2.2.8 Если соединение нагружено под углом α к волокнам, то характеристическая несущая способность $F_{v,\alpha,Rk}$ связи в плоскости сдвига определяется с использованием формулы

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (9.86)$$

$$k_{90} = 1,3 + 0,001 \cdot d_c, \quad (9.87)$$

где $F_{v,0,Rk}$ – определяется в Формуле (9.81);

d_c – был определен выше.

Минимальный шаг и расстояние до кромки или торца элемента для кольцевой или круглой пластинчатой шпонки определяются по Таблице 44.

9.2.2.9 Если шпонки расположены в шахматном порядке, то, как и для зубчатых пластин, минимальная величина шага вдоль и поперек волокон может быть уменьшена при выполнении следующих условий:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1, \text{ если } \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases}, \quad (9.88)$$

где k_{a1} и k_{a2} – коэффициенты, соответствующие минимальному расстоянию a_1 вдоль волокон, a_2 – поперек волокон, соответственно (Рисунок 55).

Если существует необходимость в уменьшении величины шага вдоль волокон $k_{a1}a_1$, то ее минимальное значение может быть определено путем умножения на коэффициент $k_{s,red}$ при условии, что $0,5 \leq k_{s,red} \leq 1$. В этом случае несущая способность каждой связи $F_{V,0,Rk,connector}$ должна определяться из формулы

$$F_{V,0,Rk,cjnnect} = k_{r,red} F_{V,0,Rk}, \quad (9.89)$$

где
$$k_{r,red} = 0,2 + 0,8 \cdot k_{s,red}. \quad (9.90)$$

Если коэффициент k_{a1} необходимо понизить коэффициентом $k_{s,red}$, то минимальные величины шага вдоль и поперек волокон должны удовлетворять следующим условиям:

$$(k_{s,red} k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1, \text{ если } \begin{cases} 0 \leq k_{s,red} k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases}. \quad (9.91)$$

9.2.2.10 Если разрезные кольцевые шпонки или округлые пластинчатые шпонки расположены вдоль волокон и в ряду более двух связей, то их несущая способность в плоскости сдвига при нагружении вдоль волокон, будет уменьшаться. При таком условии, для соединений с одной или двумя плоскостями сдвига, независимо от типа используемой связи, число связей будет приниматься равным числу соединительных болтов в ряду, а расчетное число связей n_{ef} определяется из формулы

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right)(n - 2), \quad (9.92)$$

где n – число соединительных болтов в ряду вдоль волокон. Если $k_{a2}a_2 < 0,5k_{a1}a_1$, то связи должны располагаться в том же ряду.

Если соединение имеет несколько рядов связей по направлению волокон, то их расчетное число равняется сумме связей в каждом ряду. Если связи нагружены поперек волокон, то их расчетное количество будет равно количеству болтов в соединении.

Болты и шайбы, используемые в соединениях с кольцевыми или круглыми пластинчатыми шпонками, должны удовлетворять требованиям п. 10.4.3 в

СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Минимальные и максимальные диаметры болтов, используемых в соединениях для данных типов связей, приведены в Таблице 45, где d_c - диаметр связи, мм; d – диаметр болта, мм; d_1 – диаметр центрального отверстия для связи, мм.

9.2.2.11 Если связи воспринимают усилие, которое направлено под углом к волокнам древесины (Рисунок 37), то должна быть выполнена проверка несущей способности в соответствии с выражением (9.34) п. 9.1.5.12 настоящего пособия.

Смотри пример Пункта 9.2.2.14.4.

Таблица 45 – Требования к диаметрам болтов, используемых в соединениях с кольцевыми шпонки или круглыми пластинчатыми шпонками (EN 912*)

Наименование	Тип шпонки		
	A1 – A6	A1, A4 и A6	B
Диаметр связи, d_c	≤ 130	> 130	
Минимальный диаметр болта, d_{\min}	12	$0,1 d_c$	$d_1 - 1$
Максимальный диаметр болта, d_{\max}	24	24	d_1
* Но основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 10.1)			

9.2.2.12 Если соединение подвержено действию кратковременных знакопеременных усилий, то характеристическая несущая способность не будет изменяться.

Если соединение подвержено действию знакопеременных усилий от длительных и среднесрочных воздействий, характеристическая несущая способность соединения будет понижаться. В этом случае следует руководствоваться требованиями п.9.1.5.15 настоящего пособия.

9.2.2.13 Расчетное значение несущей способности соединения, выполненного с использованием кольцевых или круглых пластинчатых шпонок, должно определяться с учетом угла между направлением прикладываемого усилия и волокнами древесины.

9.2.2.13.1 Расчетное значение несущей способности единичной поперечно нагруженной связи при действии усилия вдоль волокон определяется из формулы

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{\text{mod}} F_{v,Rk}}{\gamma_M}, \quad (9.93)$$

где k_{mod} – поправочный коэффициент, принимаемый из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 3.1). Если соединение состоит из двух деревянных элементов, то должны использоваться значения $k_{\text{mod},1}$ и $k_{\text{mod},2}$, а k_{mod} определяется:

$$k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} k_{\text{mod},2}};$$

γ_M – частный коэффициент для соединений, принимаемый из СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 2.3).

$F_{v,Rk}$ – характеристическая несущая способность связи в плоскости сдвига, т.е. наименьшее значение, определяемое из Формулы (9.70) для зубчатых пластин или Формулы (9.71) – для круглых пластинчатых шпонок.

Для соединения, состоящего из r_{pl} рядов связей, расположенных вдоль волокон, когда каждый ряд включает n связей одинакового размера с одинаковыми расстояниями, при расчетной прочности каждого в плоскости сдвига $F_{v,Rd}$, расчетная несущая способность соединения вдоль волокон $F_{v,ef,Rd}$ будет равна:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{sp} r_{pl} n_{ef} F_{v,Rd}, \quad (9.94)$$

где n_{ef} – расчетное число связей в каждом ряду соединения вдоль волокон;

n_{sp} – количество плоскостей сдвига в соединении.

а) Расчетное число зубчатых пластин.

Расчетное число зубчатых пластин в ряду будет равно числу соединительных болтов в этом ряду. Для учета влияния болтов на несущую способность соединения расчетное число болтов определяется согласно п. 9.1.5.14 настоящего пособия, как для болтов и нагелей.

б) Расчетное число кольцевых шпонок или круглых пластинчатых шпонок.

Расчетное число кольцевых шпонок или пластинчатых шпонок в ряду определяется из Формулы (9.92).

9.2.2.13.2 Расчетное значение несущей способности соединения при действии усилий поперек волокон должно определяться из двух условий:

– прочности древесины в результате раскалывания при растяжении поперек волокон (данное условие описано в п. 9.2.2.11 и п.9.1.5.12);

– текучести соединения. Для этого условия, при количестве r_{pr} линий связей, когда каждая линия включает n связей одинакового размера, то

$$F_{v,ef,Rd} = n_{sp} r_{pr} n_{cb} F_{v,Rd}, \quad (9.95)$$

где $F_{v,ef,Rd}$ – принятая расчетная несущая способность связи в плоскости сдвига от усилия, действующего поперек волокон;

n_{sp} – число плоскостей сдвига в соединении;

n_{cb} – число соединительных болтов по линии поперек волокон;

$F_{v,Rd}$ – расчетная несущая способность связи в плоскости сдвига при усилии направленном поперек волокон, т.е. наименьшее значение, определяемое из выражения (9.70) – для зубчатых пластин или из выражения (9.71) – для круглой пластинчатой шпонки.

Таким образом, расчетная несущая способность соединения нагруженного поперек волокон будет равняться

$$F_d = \min(F_{90,Rd}, F_{v,ef,Rd}), \quad (9.96)$$

где $F_{90,Rd}$ – расчетная несущая способность при раскалывании древесины, которая для хвойных пород определяется из выражения (9.35).

9.2.2.13.3 Расчетное значение несущей способности соединения нагруженного усилием, действующим под углом к волокнам древесины, должно определяться из двух условий:

- составляющая расчетного усилия, действующая вдоль волокон, не должна превышать несущую способность соединения, определяемую в п. 9.2.2.13.1 настоящего пособия;
- составляющая расчетного усилия, действующая поперек волокон, не должна превышать меньшую несущую способность соединения, определяемую в п. 9.2.2.13.2 настоящего пособия.

9.2.2.14 Поперечная жесткость соединений, выполненных с использованием зубчатых пластин, кольцевых шпонок и круглых пластинчатых шпонок, определяется аналогичным образом как для металлических связей нагельного типа, описанных в п.9.1.5.17 настоящего пособия, с учетом некоторого различия.

9.2.2.14.1 Модуль податливости K_{ser} в плоскости сдвига в предельном состоянии SLS определяется из выражений, приведенных в Таблице 46. Если соединение состоит из двух элементов на основе древесины, имеющих среднюю плотность $\rho_{m,1}$ и $\rho_{m,2}$, соответственно, то ρ_m , используемое в выражениях, будет равно:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1}\rho_{m,2}} \quad (9.97)$$

Таблица 46 – Значения K_{ser} для соединений «древесина- древесина» и «плита на основе древесины - древесина»*

Тип используемой связи (в соответствии с EN 912)	Модуль скольжения K_{ser} по предельным состояниям SLS, Н/мм
Зубчатые пластины: типы связей от C1 до C9	$1,5\rho_m d_c/4$
типы связей от C10 до C11	$\rho_m d_c/2$
Разрезная кольцевая шпонка типа А	$\rho_m d_c/2$
Круглая пластинчатая шпонка типа В	$\rho_m d_m/2$
*На основании СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблица 7.1)	

9.2.2.14.2 Для соединений «сталь-древесина» или «бетон-древесина», модуль податливости K_{ser} определяется с учетом средней плотности ρ_m деревянного элемента. Чтобы учесть отсутствие скольжения в стальном или бетонном элементе, значение K_{ser} может быть умножено на 2.

9.2.2.14.3 При расчете по предельным состояниям эксплуатационной пригодности мгновенный модуль податливости K_u определяется по формуле

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} . \quad (9.98)$$

9.2.2.14.4 Если соединение выполнено с использованием односторонних связей (односторонних зубчатых пластин или круглых пластинчатых шпонок), жесткость каждой пары связей (на соединительный болт) должна приниматься равной жесткости односторонней связи (Таблица 46).

ПРИМЕР Определить несущую способность соединения (Рисунок 52) нижнего растянутого пояса стропильной деревянной фермы. Соединение выполнено внахлест «древесина- древесина» с использованием разрезных кольцевых шпонок типа A2 в соответствии с EN 912 и включает деревянные прокладки. Поперечное сечение основных элементов соединения имеет размеры $b \times h = 50 \times 150$ мм. Центральная деревянная прокладка имеет толщину 70 мм. Разрезные кольцевые шпонки закреплены при помощи болтов диаметром 12 мм, установленных с использованием шайб, которые соответствуют требованиям п.10.4.3 в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Разрезные кольцевые шпонки имеют размер 150 мм. Соединение должно воспринимать растягивающую расчетную нагрузку 60 кН по предельным состояниям несущей способности (ULS). Нагрузка обусловлена комбинацией постоянных и среднесрочных переменных воздействий. Класс по условиям эксплуатации – 2. Все элементы фермы изготовлены из цельной древесины класса прочности C24 по EN 338.

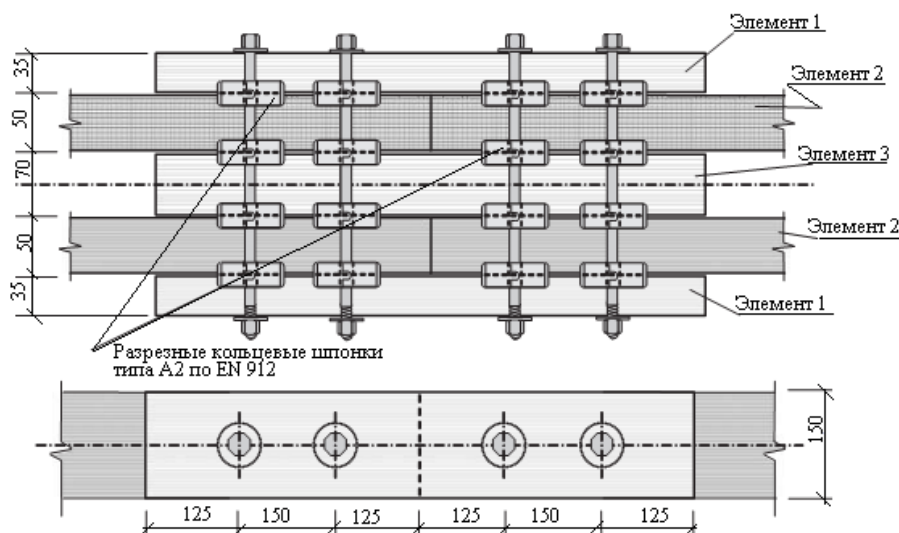


Рисунок 52 – Схема стыковочного узла нижнего пояса фермы

Для решения данной задачи принимаем следующий алгоритм.

1. Геометрические характеристики соединения

Толщина элемента 1, $t_1 = 35$ мм.

Ширина элемента 1, $h_1 = 150$ мм.

Толщина элемента 2, $t_2 = 50$ мм.

Ширина элемента 2, $h_2 = 150$ мм.

Толщина элемента 3, $t_3 = 70$ мм.

Ширина элемента 3, $h_3 = 150$ мм.

Диаметр разрезной кольцевой шпонки типа A2, $d_c = 72$ мм.

Диаметр стяжного болта $d = 12$ мм, что удовлетворяет требованию в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (10.4.3(4)).

Расстояние до нагруженного торца во всех элементах, $a_{3,t} = 125$ мм, а минимальное расстояние, согласно требованиям в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Таблицы 8.7) должно составлять $1,5d_c = 108$ мм.

Длина до незагруженной кромки для всех элементов, $a_{4c} = h_1/2 = 75$ мм, а минимальная должна быть $0,6d_c = 43,2$ мм.

Шаг связей вдоль волокон, $a_1 = 150$ мм.

Угол усилия в связи относительно волокон, $\alpha = 0^\circ$.

Минимально допустимое расстояние между связями вдоль волокон, $a_1 = (1,2+0,8|\cos(\alpha)|)d_c = 144$ мм.

Толщина кольца в соединении по EN 912, $t = 4,1$ мм.

Высота разрезной кольцевой шпонки по EN 912, $h_c = 19$ мм.

Высота углубления разрезной кольцевой шпонки в деревянном элементе,

$h_e = h_c/2 = 9,5$ мм.

Минимальная толщина крайнего элемента, $t_{1,min} = 2,25 h_e = 21,4$ мм.

Минимальная толщина элементов 2 и 3, $t_i = 3,75 h_e = 35,6$ мм.

Толщина элементов 2 и 3 превышает минимальные значения, т.е. условие выполняется.

Площадь поперечного сечения элемента 1 с учетом ослаблений под болт и разрезную кольцевую шпонку, $A_1 = h_1 t_1 - (d_c h_e) - (d+1)(t_1 - h_e) = 4,23 \times 10^3$ мм².

Площадь поперечного сечения элемента 2 с учетом ослаблений под болт и разрезную кольцевую шпонку, $A_2 = h_2 t_2 - 2(d_c h_e) - (d+1)(t_2 - 2h_e) = 5,73 \times 10^3$ мм².

Площадь поперечного сечения элемента 3 с учетом ослаблений под болт и разрезную кольцевую шпонку, $A_3 = 2A_1 = 8,46 \times 10^3$ мм².

Количество разрезных кольцевых шпонок в каждой плоскости сдвига вдоль волокон, $n = 2$.

Определяем расчетное количество разрезных кольцевых шпонок для каждой плоскости сдвига вдоль волокон в каждом соединении, используя Формулу (8.71) в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Тогда $n_{ef} = 2 + (1 - \frac{n}{20})(n - 2) = 2$.

2. Определяем характеристики древесины и болта

Для класса прочности древесины C24 согласно Таблице 1 в EN 338:

- характеристическая прочность при растяжении вдоль волокон, $f_{t,0,k} = 14$ Н/мм²;
- характеристическая плотность древесины, $\rho_k = 350$ кг/м³;
- средняя плотность древесины, $\rho_m = 420$ кг/м³.

3. Определяем значения частных коэффициентов

Из Таблицы 2.3 в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 принимаем:

- значение коэффициента γ_M для соединений, $\gamma_{M,connection} = 1,3$;
- значение коэффициента свойств материала для древесины, $\gamma_M = 1,3$.

4. Воздействия

Расчетное усилие в соединении по ULS, получаемое из комбинации постоянной и среднесрочной переменной нагрузки, $F_{d,ULS} = 60$ кН.

5. Определяем значения коэффициентов k_{mod} и k_h

Значение коэффициента модификации для средней продолжительности нагружения и условий эксплуатации 2 принимаем из Таблицы 3.1 в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, $k_{mod,med} = 0,8$.

Поскольку растянутые элементы имеют ширину 150 мм, $k_h = 1$.

6. Определяем расчетные усилия соединения в плоскостях сдвига

Принимаем, что в узле включаются в работу две двойные плоскости сдвига соединений, по одному с обеих сторон от центральной продольной оси.

Плоскость сдвига 1 (сдвиг между элементами 1 и 2). Здесь принимаем, что толщина элемента 3 составляет 35 мм.

Характеристическое значение несущей способности разрезной кольцевой шпонки между элементами 1 и 2 будет определяться из Формулы (9.81) настоящего пособия.

Предварительно определим значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 и k_4 , используя Формулы (9.82; 9.83; 9.84 и 9.85) настоящего пособия.

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ t_1 / 3h_e \\ t_2 / 5h_e \end{cases}, k_1 = 1;$$

$$k_2 = \min \begin{cases} k_a \\ a_{3,t} / 2d_c \end{cases}, k_a = 1 \text{ и } k_2 = 0,87;$$

$$k_3 = \min \begin{cases} 1,75 \\ \rho_k / 350 \end{cases}, k_3 = 1;$$

$k_4 = 1$.

Используя Формулу (9.81), определяем характеристическое значение несущей способности $F_{v,Rk}$ разрезной кольцевой шпонки в соединении между элементами 1 и 2.

Характеристическое значение несущей способности из условия сдвига (скалывания) части древесины в соединении будет:

$$F_{lv,Rk} = k_1 k_2 k_3 k_4 (35 \cdot d_c^{1,5}) = 18,6 \text{ кН.}$$

Характеристическое значение несущей способности из условия смятия древесины в соединении будет:

$$F_{2v,Rk} = k_1 k_3 (31,5 \cdot d_c h_e) = 21,58 \text{ кН.}$$

За характеристическую несущую способность разрезной кольцевой шпонки между элементами 1 и 2 принимаем минимальное значение из $F_{lv,Rk}$ и $F_{2v,Rk}$, т.е. $F_{lv,Rk} = 18,6 \text{ кН}$.

Определяем расчетное значение несущей способности разрезной кольцевой шпонки между элементами 1 и 2,

$$F_{lv,Rd} = \frac{k_{mod,med}}{\gamma_{M,connection}} F_{lv,Rk} n_{ef} = 22,9 \text{ кН.}$$

Определяем расчетную несущую способность соединения, $F_{v,Rd}$.

При определении расчетной несущей способности соединения должно быть учтено число плоскостей сдвига в соединении. Здесь оно равняется 4. Тогда расчетная несущая способность будет:

$$F_{v,Rd} = 4F_{lv,Rd} = 91,6 \text{ кН.}$$

Сопоставляя значение расчетного усилия $F_{d,ULS} = 60 \text{ кН}$, действующего в узле фермы, с величиной расчетной несущей способности $F_{v,Rd} = 91,6 \text{ кН}$ можно сделать вывод, что несущая способность соединения узла фермы обеспечена.

7 Проверим прочность деревянных элементов соединения с учетом ослаблений от действия растягивающих усилий в соединении

Определим усилия, действующие в каждом деревянном элементе соединения.

Расчетное усилие в элементе 1, $F_{1d} = \frac{F_{d,ULS}}{4} = 15 \text{ кН}$.

Расчетное усилие в элементе 2, $F_{2d} = \frac{F_{d,ULS}}{2} = 30 \text{ кН}$.

Расчетное усилие в элементе 3, $F_{3d} = \frac{F_{d,ULS}}{4} = 15 \text{ кН}$.

Определим напряжения в деревянных элементах соединения при их растяжении с учетом ослаблений. Расчетное напряжение при растяжении вдоль волокон в элементе 1,

$$\sigma_{lt,0,d} = \frac{F_{1d}}{A_1} = 3,54 \text{ Н/мм}^2.$$

Расчетное напряжение при растяжении вдоль волокон в элементе 2,

$$\sigma_{2t,0,d} = \frac{F_{2d}}{A_2} = 5,24 \text{ Н/мм}^2.$$

Расчетное напряжение при растяжении вдоль волокон в элементе 3,

$$\sigma_{3t,0,d} = \frac{F_{3d}}{A_3} = 3,54 \text{ Н/мм}^2.$$

Определяем расчетное значение прочности древесины при растяжении вдоль волокон,

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod,med}} k_h f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 8,61 \text{ Н/мм}^2.$$

Сопоставляя значения $f_{t,0,d}$ с величинами расчетных напряжений, действующих в деревянных элементах соединения при их растяжении можно сделать вывод, что их прочность обеспечена.

10 КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БАЛОК, РАМ, АРОК И ФЕРМ

10.1 Общие положения по проектированию деревянных конструкций

10.1.1 Деревянные конструкции следует применять в зданиях и сооружениях сельского, гражданского и промышленного строительства, когда это технически целесообразно и экономически обосновано. При проектировании деревянных конструкций необходимо учитывать: класс условий эксплуатации, категорию проектного срока эксплуатации, огнестойкость проектируемого здания или сооружения, а также возможности сырьевой и производственной базы, обеспечивающие изготовление конструкций.

10.1.2 Для всех видов зданий общественного и производственного назначения рекомендуется принимать:

- шаг деревянных стропильных балок и ферм, рам и арок 3 и 6 м;
- панели и плиты ограждающих конструкций шириной 1,2 и 1,5 м, длиной 3 и 6 м.

Пролеты и шаг несущих деревянных конструкций назначаются с учетом технологических требований, объемно-планировочных решений зданий и сооружений в соответствии с требованиями стандартов серии EN по видам строительства.

10.1.3 Рекомендуемые схемы плоскостных несущих деревянных конструкций с их основными характеристиками приведены в Таблице 47.

10.1.4 Выбор конструктивной схемы и общая компоновка здания должны обеспечивать необходимую надежность конструкций на всем протяжении проектного срока эксплуатации. Особое внимание следует уделять обеспечению простого и надежного отвода воды с покрытия, отдавая предпочтение бесфонарным решениям покрытий с наружным водоотводом, без перепадов высот парапетов и надстроек, способствующих образованию снеговых мешков, протечек и очагов поражения гнилью. Покрытия с деревянными конструкциями должны быть обязательно вентилируемыми, доступными для осмотра и производства ремонтно-профилактических работ; не должны образовываться мостики холода, особенно в карнизных и коньковых узлах, в швах и сопряжениях несущих и ограждающих конструкций.

Таблица 47 – Рекомендуемые схемы плоскостных несущих деревянных конструкций с их основными характеристиками

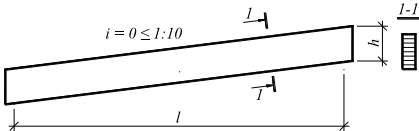
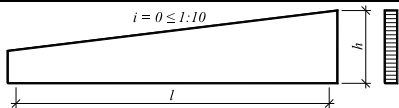
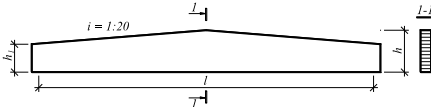
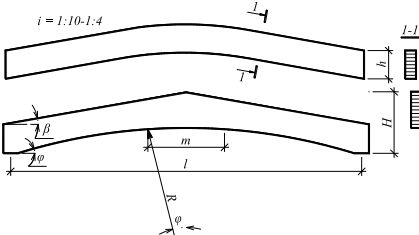
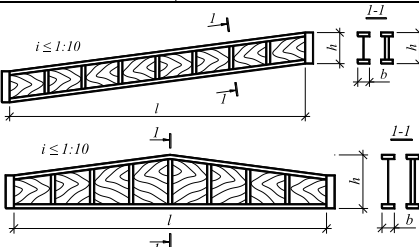
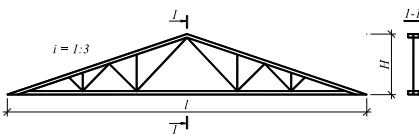
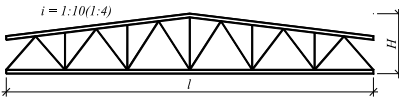
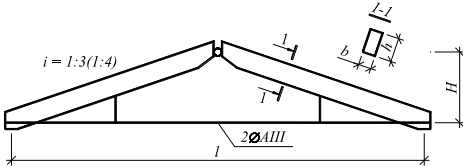
Наименование	Конструктивная схема	Рекомен- дуемые пролеты	Соотно- шение геометри- ческих параметров	Примечание
Балки: клееные прямо- угольного постоянного сечения		9 - 18	$h/l = 1/10 \div 1/15$	-
прямоугольного сечения односкатные		9 - 18	$h/l = 1/10 \div 1/12$	
прямоугольного сечения двускатные		9 - 18	$h/l = 1/10 \div 1/12$	-
прямоугольного постоянного переменного сечения, гнутоклееные		9 - 18	$h/l = 1/7 \div 1/9$	-
клефанерные дву- таврового и коробчатого и постоянного и переменного сечения		9 - 18	$h/l = 1/9 \div 1/12$	-
Фермы: из цельной и клееной древесины дощатые треугольные с соединениями на МЗП		9 - 15	$H/l = 1/6$	МЗП металлические зубчатые пластины
дощатые трапецидальные на МЗП		12 - 18	$H/l = 1/6 \div 1/7$	Могут применяться с подстропильными фермами
металлодеревянные треугольные безраскосные с верхним поясом из брусев или клееной древесины		9 - 18	$H/l = 1/6 \div 1/8$	$b/h = 1/4 \div 1/6$

Таблица 47(продолжение)

Наименование	Конструктивная схема	Рекомендуемые пролеты	Соотношение геометрических параметров	Примечание
металлодеревянные треугольные с верхним поясом из брусьев или клееной древесины		15 - 21	$H/l = 1/6$	Верхний пояс из брусьев может быть составного сечения
треугольные металлодеревянные брусчатые		9 - 18	$H/l = 1/6 \div 1/5$	
Рамы из прямолинейных элементов треугольного очертания		18 - 45	$h/l = 1/25 \div 1/30$	
из прямолинейных элементов с жесткими соединениями ригеля и стоек		12 - 40	$h_m/l = 1/15 \div 1/24$	Карнизный узел сборный соединяется на нагелях
клееные трехшарнирные ломаного очертания		18 - 45	$h/l = 1/30 \div 1/40$	Соединения в местах перелома могут быть сборными с помощью зубчатого шипа или гнутыми
брусчатые или клееные подкосами		9 - 24	-	
гнутоклееные ступенчатого очертания		18 - 36	$h_{оп}/l = 1/30 \div 1/40$	$h_{оп}/b = 7; h_b/b = 5$ Уклон 45° для складов

Таблица 47(продолжение)

Наименование	Конструктивная схема	Рекомендуемые пролеты	Соотношение геометрических параметров	Примечание
клеефанерные гнутоклееными деталями карнизах		12 - 24	$h_k/l = 1/25 \div 1/40$	-
двухшарнирные жестким соединением колонн фундаментами		12 - 24	-	Ригель может быть также в виде ферм или арок
Арки: клееные трехшарнирные стрельчатого очертания		12 - 45	$h/l = 1/30 \div 1/40$	При $H/l \approx 1/2$ арки применяются преимущественно для складов сыпучих материалов
коробового очертания		9 - 24	$h/l = 1/30 \div 1/50$	-
пологие кругового очертания		18 - 72	$H/l = 1/30 \div 1/50$	При $H/l \geq 1/6$
то же, с затяжкой		12 - 42	$H/l = 1/30 \div 1/40$	Возможно жесткое сопряжение клееных элементов для двухшарнирного решения

10.1.5 Необходима тесная увязка строительной и технологической частей проекта с целью исключения возможности перегрева и увлажнения конструкций, а также не предусмотренного проектом вибрационного и динамического воздействия на них. К конструкциям не должны подвешиваться или располагаться вблизи них неизолированные горячие трубопроводы, калориферы воздушного отопления.

10.1.6 При проектировании деревянных конструкций особое внимание должно уделяться условиям эксплуатации по характеристикам температурно-влажностных воздействий, согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (2.3.1.3); по естественной долговечности в соответствии с требованиями EN 350-2 для конкретного класса эксплуатации, установленного в EN 335-1, EN 335-2 и EN 335-3; по устойчивости к химической агрессии, согласно требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011(4.2). Следует избегать применения деревянных клееных конструкций в зданиях, по условиям эксплуатации которых равновесная влажность древесины оказывается ниже заданной при изготовлении.

10.1.7 При проектировании конструкций и особенно их узловых соединений, следует предусматривать проверку на транспортные и монтажные нагрузки в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Раздел 10). В рабочей документации указывать места и способы строповки, а при необходимости – местные усиления при перевозке, кантовке и подъеме конструкции.

10.1.8 Способы транспортировки, складирования, укрупнительной сборки и монтажа, влияющие на конструктивное решение, защиты деревянных конструкций от коррозии и огня должны быть заранее определены и представлены в проекте производства работ.

10.1.9 Большое внимание при проектировании следует уделять пространственной жесткости и устойчивости конструкций, обеспечиваемых устройством и постановкой соответствующих связей жесткости.

10.1.10 При проектировании деревянных конструкций должны быть предусмотрены конструкционные меры по:

- предохранению древесины конструкций от непосредственного увлажнения атмосферными осадками, грунтовыми и талыми водами, эксплуатационными и производственными водами;
- предохранению древесины конструкций от промерзания, капиллярного и конденсационного увлажнения;
- систематической просушке древесины конструкций путем создания осушающего температурно-влажностного режима (естественная и принудительная вентиляция помещения, устройство в конструкциях и частях зданий осушающих продухов, аэраторов).

10.1.11 Несущие деревянные конструкции (фермы, арки, балки и др.) должны быть открытыми, хорошо проветриваемыми, по возможности доступными во всех частях для осмотра, а также для проведения профилактического ремонта, включающего работы по химической защите элементов конструкций.

10.1.12 В отапливаемых зданиях и сооружениях несущие конструкции следует располагать так, чтобы они целиком находились либо в пределах отапливаемого помещения, либо вне его.

Допускается при соответствующем обосновании располагать несущие деревянные клееные конструкции (балки, рамы, арки) частично внутри отапливаемого помещения, а частично снаружи. При этом конструкции должны иметь прямоугольное сплошное

сечение и усиленную защиту в местах пересечений ограждающих конструкций (стен, перекрытий, покрытий) от увлажнения и биоразрушения.

10.1.13 Не допускается заделка поясов, опорных и промежуточных узлов, концов элементов решетки ферм в толщу стен, совмещенных покрытий или чердачных перекрытий.

Опорные части несущих конструкций (ферм, арок, балок) при размещении их в гнездах каменных стен должны быть открыты. Запрещается заделывать наглухо зазоры между стенками гнезд и опорными частями конструкций кирпичом, раствором, герметизирующими материалами и т.п.

В наружных каменных стенах отапливаемых зданий и сооружений, а также во внутренних стенах, разделяющих отапливаемые и неотапливаемые помещения здания, стенки гнезд следует утеплять во избежание их промерзания, в соответствии с теплотехническим расчетом.

10.1.14 Для несущих конструкций, имеющих на опорах металлические башмаки (фермы, арки и др.), опирание на наружные каменные стены отапливаемых зданий и сооружений с выделкой гнезд не допускается из-за опасности выпадения конденсата на металле. Такие конструкции следует опирать на железобетонные опоры (колонны), пилястры стен и другие опоры, выступающие внутрь помещения.

10.1.15 В местах опирания несущих конструкций на фундамент, каменные стены, пилястры, железобетонные колонны, между древесиной конструкций и более теплопроводным материалом опоры следует вводить гидроизоляционные прокладки.

В том случае, если опорная часть несущих конструкций устанавливается на деревянные подкладки (подушки), последние также следует отделять от более теплопроводного материала опоры гидроизоляционными прокладками. Подкладки (подушки) должны изготавливаться из древесины твердых лиственных пород и консервироваться невымываемыми или трудновымываемыми биозащитными составами.

10.1.16 При эксплуатации конструкций в условиях, где возможно выпадение конденсата на металлических поверхностях, следует принимать меры по предохранению древесины от увлажнения в местах контакта с металлическими крепежными элементами (накладки, уголки, шайбы под болты и пр.). Для этого, между древесиной и металлическим элементом, следует вводить гидроизоляционный слой (мастику, прокладки из рулонных гидроизоляционных материалов, эластичные прокладки или уплотнительные ленты).

10.1.17 При расположении деревянных рам, арок и стоек (колонн) внутри помещений, обрез опоры следует устраивать на такой высоте от уровня пола, чтобы в процессе эксплуатации исключалась возможность увлажнения опорного узла.

В том случае, если опорная часть несущей конструкции находится на открытом воздухе, обрез фундамента должен быть устроен так, чтобы обеспечивался быстрый отвод воды, попадающей на него в виде атмосферных осадков, и исключалось затопление опорного узла дождевыми и талыми водами.

10.1.18 В зданиях и сооружениях второго класса эксплуатации, а также с агрессивной средой, несущие деревянные конструкции должны иметь сплошное сечение и минимальное число металлических элементов.

10.1.19 Несущие конструкции, эксплуатируемые на открытом воздухе, должны иметь сплошное массивное сечение и изготавливаться из брусьев, круглого леса или из клееной древесины. Конструкции из брусьев или круглого леса следует проектировать с зазорами между элементами вне зон соединений, которые способствуют более быстрому высыханию древесины в процессе эксплуатации.

В открытых сооружениях необходимо в максимальной степени использовать средства, предохраняющие деревянные элементы конструкций от прямого попадания на них атмосферной влаги.

Для защиты от атмосферных осадков открытые горизонтальные и наклонные грани ответственных несущих конструкций следует защищать досками, консервированными биозащитными составами, козырьками из атмосферо- и коррозиестойкого материала.

10.1.20 Опорные части и узловые соединения несущих конструкций, эксплуатируемые на открытом воздухе или в зданиях с повышенной влажностью, следует проектировать таким образом, чтобы концы элементов были, по возможности, хорошо проветриваемыми и имели минимальную площадь контакта с металлом. Следует избегать использования глухих металлических башмаков при опирании несущих конструкций на фундамент в коньковых узлах арок, рам и др.

10.1.21 Деревянные покрытия следует проектировать, как правило, с наружным отводом воды.

Устройство ендов в совмещенных покрытиях не допускается.

10.1.22 В ограждающих конструкциях отапливаемых зданий и сооружений должно быть исключено влагонакопление в процессе эксплуатации. В панелях стен и плитах покрытий следует предусматривать вентиляционные продухи, сообщающиеся с наружным воздухом, а в случаях, предусмотренных теплотехническим расчетом, использовать пароизоляционный слой.

10.1.23 Пароизоляцию ограждающих конструкций следует предусматривать из рулонных и пленочных материалов, окрасочную или обмазочную.

Рулонная и пленочная пароизоляции должны применяться в ограждающих конструкциях, у которых обшивки соединены с каркасом на податливых соединениях (гвозди, шурупы, скобки). При этом пароизоляционный слой должен быть сплошным и непрерывным (рулонные полотна склеивают, пленки сваривают или склеивают) и укладываться между каркасом и обшивкой.

Окрасочная (обмазочная) пароизоляция должна применяться в ограждающих конструкциях с соединением обшивок на клею. Наносится такая пароизоляция на внутренние поверхности обшивки. Окрасочную пароизоляцию, если она совмещает функцию влагозащитного покрытия, допускается размещать и на наружной поверхности обшивки.

10.1.24 Вентилирование плит покрытия под рулонную кровлю должно осуществляться через продухи, специально устраиваемые между наружной обшивкой и утеплителем.

В плитах покрытия под кровлю из волнистых листов, профилированного металлического настила такие продухи не устраивают. Карнизный узел должен проектироваться так, чтобы наружный воздух имел свободный доступ под кровельные

листы. Не допускается закрывать снаружи подкровельное пространство от задувания снега с помощью гребенок без оставления продухов для вентиляции.

10.1.25 Стеновые панели с каркасом из древесины, фанеры или древесно-плитных материалов должны устанавливаться на фундамент или цокольную панель таким образом, чтобы наружный воздух мог свободно поступать в них снизу через вентиляционные продухи и выходить у карниза. Не допускается устанавливать панели на фундамент (цокольную стеновую панель) без прокладки гидроизоляционного слоя, герметизации и утепления швов между ними.

Не допускается использовать для наружной обшивки стеновых панелей отапливаемых зданий паронепроницаемые материалы при отсутствии между обшивкой и заполнением вентиляционного продуха.

10.1.26 В целях предохранения наружных стен от намокания, расстояние от отмостки до низа панелей должно быть не менее 40 см, а вынос карниза (свес кровли) при неорганизованном водоотводе - не менее 50 см.

10.2 Требования по проектированию балок

10.2.1 Деревянные балки являются безраспорными плоскими конструкциями, которые могут изготавливаться как из цельной, так и клееной древесины, и LVL. Балки из клееной древесины могут быть клеедощатыми массивными, состоящими из пакетов досок, склеенных между собой в основном по пластин (Таблица 47), клеефанерными тонкостенными, состоящими из дощатых поясов и приклеенных к ним стенок из фанеры, и клееными тонкостенными, состоящими из дощатых поясов и приклеенных к ним стенок из LVL или OSB.

10.2.2 По геометрическому очертанию балки подразделяются на прямолинейные и криволинейные (полностью изготовленные из тонких досок – гнутоклееные), либо с криволинейными участками. Прямолинейные и гнутоклееные балки могут быть постоянной высоты или переменной – односкатные и дускатные (Таблица 47). Поперечное сечение клееных балок может быть прямоугольным и реже двутавровым, а клеефанерных и клееных тонкостенных балок – двутавровым и коробчатым.

10.2.3 Балки следует рассчитывать по предельным состояниям несущей способности и предельным состояниям эксплуатационной пригодности в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (Разделов 6 и 7).

10.2.4 Подрезы, скосы и вырезы в балках допускаются в том случае, если они удовлетворяют требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.5).

10.2.5 Составным балкам на податливых связях следует придавать строительный подъем путем выгиба элементов до постановки связей. Величину строительного подъема следует принимать увеличенной в полтора раза по сравнению с прогибом составной балки при действии расчетной нагрузки.

10.2.6 Клееным балкам с шарнирным опиранием и прямолинейной нижней гранью следует придавать строительный подъем, равный $\frac{1}{200}$ пролета. В клееных изгибаемых и сжато-изгибаемых элементах допускается сочетать древесину двух классов прочности, используя в крайних зонах на $\frac{1}{6}$ высоты поперечного сечения более высокий класс

прочности древесины, а в средней части – древесину более низкого класса прочности (Рисунок 53). Поперечное сечение клееных балок может быть сформировано как с горизонтальным расположением клеевых швов, так и вертикальным (Рисунок 53). Установленные в EN 1194 классы прочности для клееной древесины распространяются только на клеенные элементы с горизонтальным расположением клеевых швов в поперечном сечении.

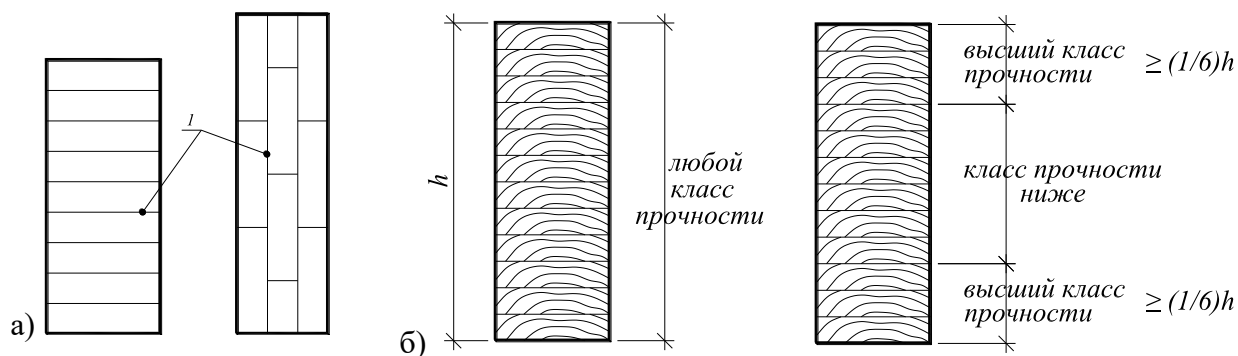
10.2.7 Пояса клееных балок с плоской фанерной стенкой следует выполнять из вертикально поставленных слоев (досок). В поясах балок коробчатого сечения допускается применять горизонтальное расположение слоев. Если высота поясов превышает 100 мм, в них следует предусматривать горизонтальные пропилы со стороны стенок.

Для стенок балок должны применяться фанера, LVL или OSB толщиной не менее 8 мм.

В клефанерных балках фанеру стенок целесообразно располагать так, чтобы волокна ее наружных шпонов были направлены вдоль оси балки. При таком расположении волокон наружных шпонов соединение фанерных листов осуществляется «на ус». При поперечном расположении наружных шпонов, соединение листов выполняется с использованием накладок.

Клефанерные балки с плоской стенкой рекомендуется использовать для пролетов до 15 м. Высота поперечного сечения таких балок принимается от $1/5$ до $1/12$ пролета.

Расчет клефанерных балок по предельным состояниям несущей способности должен выполняться в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (6.1.1).



а) – поперечное сечение с горизонтальным и вертикальным расположением клеевых швов;
б) – распределение древесины по классам прочности в поперечном сечении балки

Рисунок 53 – Общий вид поперечного сечения клееной деревянной балки

10.2.8 Изготовление клееных балок должно полностью соответствовать требованиям EN 386:2002, а используемые расчетные предпосылки должны базироваться на свойствах, зависящих от того, какая древесина (однородная или комбинированная) используется в балке. Используемая для изготовления клееных балок древесина, должна соответствовать требованиям EN 338, EN 386:2002 и EN 1194.

10.2.9 Для клееных балок из однородной клееной древесины, механические свойства определяют из эквивалентных свойств древесины слоев хвойной породы, в соответствии с

EN 1194 (6.3.2). Характеристическая прочность при изгибе $f_{m,g,k}$, приведенная в Таблице 6 EN 1194 и Таблице 4 настоящего пособия, относится к элементам с минимальной высотой поперечного сечения балки 600 мм и толщиной 150 мм. Это относится и к значениям характеристической прочности при растяжении вдоль волокон $f_{t,0,g,k}$. Поэтому, для балок меньшим поперечным сечением, при определении характеристических значений клееной древесины, должен учитываться коэффициент k_h .

10.2.10 Расчетные значения для клееных деревянных балок определяют таким же образом, как и для изгибаемых элементов из цельной древесины, т.е. по формуле

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_M}, \quad (10.1)$$

где k_{mod} , k_{sys} , k_h , $f_{m,g,k}$ и γ_M – были определены выше.

10.3 Требования по проектированию рам

10.3.1 Рамы относятся к плоским распорным конструкциям. При проектировании чаще всего следует использовать клееные деревянные рамы сплошного сечения. Сквозные (решетчатые) рамы проектируются в основном из цельной древесины. По формообразованию рамы подразделяются на: двухшарнирные рамы стоечно-балочной системы и трехшарнирные рамы.

Двухшарнирные рамы следует проектировать с жесткими узлами присоединения стоек к фундаментам. В двухшарнирных рамах стоечно-балочной системы ригелями могут быть любые безраспорные конструкции.

В трехшарнирных рамах соединение ригеля со стойкой выполняется жестким.

10.3.2 Клееные рамы в зависимости от используемых материалов и формообразования подразделяются на: рамы из прямолинейных элементов, изготовленных из клееной массивной древесины; рамы клеедощатые с криволинейными участками и клеефанерные рамы.

10.3.3 Рамы следует проектировать преимущественно с переменной высотой h и постоянной шириной b поперечных сечений. Для большинства типов рам могут быть рекомендованы следующие конструктивные размеры: высота поперечных сечений в зоне карнизных узлов $h_1 = (1/20 - 1/30)l$, у коньковых узлов $h_2 = (0,2 - 0,3)h_1$, а у опорных узлов стоек $h_3 = 0,4h_1$. Отношение максимальной высоты к ширине поперечного сечения в рамах может приниматься $h_1/b = 4 - 8$. Данные конструктивные рекомендации относятся к рамам массового применения. Для большепролетных и уникальных по формообразованию рам, могут устанавливаться свои требования, которые зависят от многих факторов и конкретных задач проектирования.

10.3.4 В элементах клееных рам допускается сочетать древесину двух классов прочности, используя в крайних зонах на 1/6 высоты поперечного сечения более высокий класс прочности древесины, а в средней части – древесину более низкого класса прочности.

10.3.5 Статический расчет рам выполняется в соответствии с требованиями

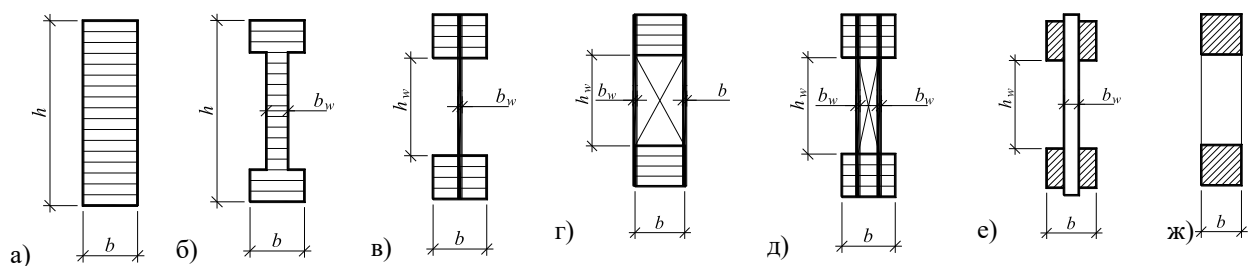
СН РК EN 1995-1-1:2008/2011(5.4.4).

10.3.6 Рамы должны рассчитываться по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1.

10.3.7 Криволинейные участки гнуто-клееных рам из массивной древесины или LVL должны рассчитываться с учетом требований СН РК EN 1995-1-1:2008/2011(6.4.3).

10.4 Требования по проектированию арок

10.4.1 Арки, как и рамы, относятся к плоским распорным конструкциям. В зависимости от статической схемы арки бывают двух- и трехшарнирные; в зависимости от материала – клеодощатые, клеефанерные, дощатые и из пиломатериалов на механических связях; в зависимости от типа сечений – прямоугольное из слоистой клееной древесины, двутавровое клеефанерное, коробчатое, коробчато-двутавровое, постоянного и переменного поперечного сечения по длине (Рисунок 54); в зависимости от очертания – из элементов прямолинейного, ломаного очертаний и криволинейных элементов постоянного и переменного радиуса кривизны; в зависимости от внешнего вида – сплошные и решетчатые; в зависимости от типа соединений – на клею, нагелях, кольцевых и зубчато-кольцевых шпонках, гвоздях.



а) – прямоугольное; б) – двутавровое; в) – клеефанерное двутавровое; г) – клеефанерное коробчатое; д) – клеефанерное двутаврово-коробчатое; е) и ж) – сечения решетчатых арок

Рисунок 54 – Сечения арок

10.4.2 Стрелу подъема пологих арок обычно принимают $1/5 - 1/7$ от пролета. В общем случае отношение стрелы подъема к пролету должно приниматься в зависимости от функционального назначения проектируемого сооружения или покрытия. Сечение клеодощатых арок небольшого пролета (пролетом до 18 м) рекомендуется принимать таким, чтобы отношение высоты поперечного сечения к ширине не превышало 5. При большем отношении h/b , необходимо выполнять расчет на устойчивость при изгибе и предусматривать конструктивные меры по обеспечению устойчивости поперечного сечения.

10.4.3 В элементах арок из клееной слоистой древесины допускается сочетать древесину двух классов прочности, используя в крайних зонах на $1/6$ высоты поперечного сечения более высокий класс прочности древесины, а в средней части – древесину более низкого класса прочности.

10.4.4 В криволинейных элементах арок, изготовленных из клееной слоистой древесины, толщина досок не должна превышать 34 – 36 мм и быть не более $r/250$, где

r - радиус кривизны. Клееная слоистая древесина, используемая для изготовления арок, должна удовлетворять требованиям EN 14080.

10.4.5 При конструировании клеефанерных арок необходимо соблюдать все требования склеивания фанерной стенки с поясами, как для клеефанерных балок.

10.4.6 Шаг арок, в зависимости от пролета, рекомендуется принимать от 3 до 6 м.

10.4.7 Статический расчет арок следует выполнять в соответствии с требованиями СН РК EN1995-1-1:2008/2011 (5.4.4).

10.4.8 Арки должны быть рассчитаны по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

10.5 Требования по проектированию ферм

10.5.1 Фермы относятся к сквозным конструкциям балочного типа. В зависимости от формы очертания верхнего пояса, фермы бывают треугольные, с параллельными поясами, сегментные и линзообразные; в зависимости от используемого материала – фермы из цельной древесины (брусьев и досок), клееной слоистой древесины и LVL, металлодеревянные фермы; в зависимости от типа узловых соединений – фермы на кольцевых и зубчатых шпонках, на зубчато-шиповых клеевых соединениях, на стальных пластинах и нагелях, на металлических зубчатых пластинах (МЗП); в зависимости от перекрываемого пролета – фермы малого пролета (9-15м), фермы большого пролета более 24 м.

10.5.2 Шаг ферм зависит от используемого материала и перекрываемого пролета он может быть от 0,5 м до 6 м. Дощатые фермы с узлами на МЗП и других нагельных пластинах устанавливаются с самым малым шагом.

Не следует проектировать узлы и стыки элементов с соединениями на связях различной податливости, а также стыки, в которых часть стержней соединена непосредственно, а часть – через промежуточные элементы и соединения.

В соединениях на гладких цилиндрических нагелях в узлах и стыках элементов ферм, должны быть установлены стяжные болты. Количество стяжных болтов должно составлять не менее 25 % от количества нагелей. Составные элементы ферм на податливых связях должны стягиваться болтами. Диаметр стяжных болтов определяется расчетом, но должен быть не менее 12 мм. Шайбы должны иметь размер сторон или диаметр не менее $3,5d$ и толщину не менее $0,25d$.

10.5.3 Стыки растянутых нижних поясов ферм следует выполнять в середине длины панели, или в середине пролета с обязательной проверкой прочности с учетом ослаблений, концентрации напряжений и возможных эксцентриситетов.

10.5.4 Используемые для изготовления ферм материалы и соединительные элементы должны удовлетворять требованиям, установленным в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

10.5.5 Оси всех элементов должны центрироваться в узлах ферм. В случае внецентренного присоединения решетки, в расчетах должен учитываться узловой изгибающий момент, который равен произведению равнодействующей в элементах решетки на ее плечо относительно оси пояса.

10.5.6 В деревянных несущих элементах ферм, площадь поперечного сечения нетто должна быть не менее 5000 мм² и не менее половины полной площади сечения брутто при симметричном ослаблении, а также не менее 0,67 – при несимметричном ослаблении. Расчет элементов ферм, имеющих ослабления, должен выполняться в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

10.5.7 В фермах с соединительными элементами в виде штампованных металлических листов, минимальная нахлестка пластины на любом деревянном элементе, должна быть не менее 40 мм и не менее 1/3 высоты деревянного элемента, а в стыках поясов ферм – не менее 2/3 требуемой высоты элемента.

10.5.8 Все фермы должны иметь строительный подъем. Величина строительного подъема должна быть не менее 1/200 пролета. В фермах, пролетом более 30 м, одна из опор должна быть шарнирно подвижной.

10.5.9 Расчет ферм должен выполняться в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 (5.4.1 – 5.4.3, 6.2.1 и 6.2.2).

10.5.10 Фермы должны быть рассчитаны по предельным состояниям несущей способности и эксплуатационной пригодности, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

11 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ, МОНТАЖУ И КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

11.1 Общие требования по изготовлению деревянных конструкций и контролю их качества

11.1.1 Для изготовления деревянных конструкций и их элементов, следует использовать как цельную, так и многослойную клееную древесину, преимущественно хвойных пород классов прочности C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50 по EN 338 – для пиломатериалов, и классов прочности GL24, GL28, GL32, GL36 по EN 1194 – для многослойной клееной древесины, изготавливаемой в соответствии с EN 14080.

11.1.2 Деревянные элементы конструкций из цельной древесины, должны соответствовать требованиям СТ РК EN 14081-1, элементы из клееной древесины – EN 14080, элементы из LVL – СТ РК EN 14374, элементы из фанеры – EN 636 – 1, EN 636 – 2 и EN 636 – 3, элементы из OSB – EN 300, элементы из ДСП EN 312, элементы из ДВП – EN 622 – 2, EN 622 – 3 и EN 622 – 5, а металлические крепежные детали – СТ РК EN 14592 и EN 14545.

11.1.3 Клеи, используемые для изготовления деревянных конструкций, должны обеспечивать соединения такой прочности и долговечности, чтобы сохранялась целостность связи в соответствии с классом эксплуатации на протяжении всего срока службы конструкции.

11.1.4 При изготовлении деревянных конструкций с использованием клеев, должны соблюдаться все инструкции производителя клея, касающиеся перемешивания, состава, условий внешней среды при склеивании, влажности склеиваемых элементов, а также другие условия производителя, должны выполняться.

11.1.5 Для клеев, требующих для набора прочности выдержки после склеивания, нагружение клеевого соединения должно быть ограничено до набора прочности соединением.

11.1.6 Древесина и материалы на основе древесины, используемые для изготовления деревянных конструкций, должны обладать соответствующей естественной долговечностью в соответствии с требованиями, оговоренными в EN 350 – 2, а для конкретного класса эксплуатации – требованиям EN 335 -1, EN 335-2 и EN 335-3, или должны быть подвергнуты защитной обработке, в соответствии с требованиями EN 335-1 и EN 460.

11.1.7 Металлические крепежные детали и элементы соединений, в случае необходимости, должны быть устойчивыми к коррозии или защищены от агрессивных воздействий. Толщина антикоррозионных покрытий, в зависимости от класса эксплуатации конструкции, должна удовлетворять требованиям СТ РК ISO 2081.

11.1.8 При изготовлении деревянных клееных конструкций должны выполняться следующие требования:

- производство должно быть оснащено механизмами и оборудованием, необходимыми для нормального протекания процесса изготовления, а также приборами для контроля этого процесса;

- производственные помещения, где изготавливают конструкции, должны иметь внутреннюю температуру воздуха 16–20°C и относительную влажность воздуха 60–70 %;

- производственный процесс должен осуществляться специально обученными квалифицированными инженерно-техническим персоналом и рабочими;

- используемые материалы должны иметь маркировку CE, свойства и качество которых полностью удовлетворяют требованиям соответствующих евростандартов (EN), а также удовлетворяют дополнительным требованиям, указанным в технической документации на клееные конструкции;

- процесс изготовления конструкций должен сопровождаться постоянным контролем, осуществляемым на каждой операции. Контролю подлежат такие характеристики, как свойства материалов и компонентов (в особенности клеев), качество обработки и точность сборки, величина давления при запрессовке, температура и влажность воздуха в цехе и т. п. Конечная продукция — конструкция целиком или ее часть (элемент) — также подлежит контролю путем внешнего осмотра и механических испытаний отдельных конструкций;

- на всех стадиях изготовления деревянных конструкций должны быть соблюдены правила техники безопасности и охраны труда, относящиеся к работам с синтетическими клеями, к обслуживанию станков и оборудования;

- наличие нормативной документации на конструкции и процесс их изготовления.

Если не может быть выполнено хотя бы одно из перечисленных требований, производство конструкций должно быть запрещено.

11.1.9 На заводе-изготовителе деревянных клееных конструкций или их элементов должна быть создана система по заводскому производственному контролю и вестись соответствующая документация. Система заводского производственного контроля должна устанавливать порядок проведения внутреннего контроля процесса производства изделий

с целью установления соответствия показателей требованиям EN 14080. В соответствии с этим, в технологическом журнале записывают все основные изменения в исходных материалах, технологических процессах или в системе заводского производственного контроля, которые влияют на показатели или применение изделий.

11.1.10 Технологический журнал должен включать процедуры заводского производственного контроля, применяемые для декларируемых показателей, подтверждаемых в рамках первичных испытаний и расчетов. Процедуры заводского производственного контроля включают систему текущего внутреннего контроля изготовления изделий с целью обеспечения соответствия реализуемых изделий требованиям EN 14080 и декларируемым значениям.

11.1.11 Текущий внутренний контроль при изготовлении деревянных клееных конструкций должен состоять из:

- инспекционного, проверок и испытаний, а также применения результатов испытаний для контроля приборов, сырья или поставляемых материалов для производственного процесса;
- инспекционного, проверок и испытаний выборочных проб готовых изделий или их частей.

11.1.12 Система заводского производственного контроля изготовления клееной древесины принимается в соответствии с EN 386:2002 (Раздел 7), а для зубчато-шиповых соединений в клееной древесине – в соответствии с EN 387:2001 (Раздел 7).

11.1.13 Все клееные элементы должны маркироваться заводом-изготовителем в соответствии с требованиями EN 14080, где должно быть указано:

- а) номер стандарта в соответствии с которым изготовлен элемент;
- б) идентификация изготовителя, логотип или наименование;
- в) характеристические показатели. Указание возможно посредством ссылки на задокументированный класс прочности, установленный в соответствии с EN 1194;
- г) клеевой состав класса использования I или II согласно EN 301;
- д) неделя и год изготовления.

В случаях, когда по эстетическим причинам маркировка может быть удалена, то на каждую поставку оформляется сопроводительный документ, в котором наряду с информацией, указанной в а) – д), содержатся также следующие сведения:

- е) наименование потребителя и адрес;
- ж) номер договора потребителя на приобретение;
- з) размеры и количество поставляемой клееной древесины.

11.1.14 Сборные конструкционные элементы дощатых решетчатых ферм, балок и прогонов, соединенные металлическими зубчатыми пластинами, должны удовлетворять требованиям СТ РК EN 14250. Используемая для изготовления данных конструкций древесина, должна быть отсортирована по прочности с применением критериев и порядка сортировки, которые соответствуют СТ РК EN 14081-1. В дополнение к основополагающим требованиям по сортировке, древесина должна соответствовать дополнительным требованиям по продольному искривлению плоскости – до 4 мм на 2 м длины, продольному искривлению боковой кромки – до 6 мм на 2 м длины, короблению – до 2 мм на 25 мм ширины и 2 м длины, поперечному искривлению плоскости – до 2 мм на

100 мм ширины. Данные требования определены в EN 844-3 и контролируются согласно EN 1310.

В зависимости от предусмотренного класса использования согласно EN 335-1 и EN 335-2, древесина должна обладать достаточной естественной стойкостью согласно EN 350-2. В противном случае, древесина должна быть обработана защитным средством, подобранным согласно СТ РК EN 351-1 и EN 460.

Используемые в качестве соединительных связей металлические зубчатые пластины должны удовлетворять требованиям EN 14545, а также соответствовать соединениям, приведенным в проектной документации. Если древесина была обработана защитным средством против биологического поражения и горения, оно должно быть совместимо с антикоррозионной защитой пластин. Используемые для изготовления конструкции металлические зубчатые пластины, должны иметь отчетливую маркировку, по которой можно идентифицировать тип пластины, производителя или поставщика.

11.1.15 Допустимые отклонения размеров пиломатериалов, используемых для изготовления сборных конструктивных элементов решетчатых ферм, балок и прогонов, должны соответствовать второму классу допуска согласно EN 336. В местах соединений элементов обзол не допускается. Ширина зазора между двумя соединяемыми деревянными элементами, в пределах площади пластины, не должна превышать 1,5 мм.

11.1.16 Во время изготовления сборных конструктивных элементов дощатых решетчатых ферм, балок и прогонов, с соединениями на металлических зубчатых пластинах, максимальная влажность деревянных элементов не должна превышать 22 %. Влажность древесины должна определяться в соответствии с EN 13183-2.

11.1.17 При изготовлении сборных конструктивных элементов дощатых решетчатых ферм, балок и прогонов, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, длина и ширина конструктивных элементов при их длине 10 м и менее не должна превышать 20 мм, а при длине элементов более 10 м – 2 мм на один метр длины. В пределах одной партии размеры элементов не должны отличаться более чем на 10 мм. Величина строительного подъема не должна отличаться более чем на 25 % от величины строительного подъема, установленной в расчете.

11.1.18 В сборных конструктивных элементах дощатых решетчатых ферм, балок и прогонов, смещение металлических зубчатых пластин не должно превышать 10 мм в любом направлении, по отношению к проектному положению. Все выступающие зубья должны быть вдавлены в направлении перпендикулярном к поверхности древесины без деформирования поверхности пластины. Величина зазора между поверхностью древесины и плоскостью металлической зубчатой пластины не должна превышать 1 мм, зазор не должен занимать более чем 25 % поверхности соединения каждого элемента конструкции.

Металлические зубчатые пластины не должны выступать за наружный край конструктивного элемента. Нижняя кромка металлической зубчатой пластины, которая будет располагаться над опорой, должна находиться на расстоянии как минимум 3 мм от нижней кромки элемента конструкции, соприкасающейся с опорой.

11.1.19 К изделиям сборных конструктивных элементов дощатых решетчатых ферм, балок и прогонов, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, должны прилагаться чертежи и письменные инструкции по транспортировке, обращению,

хранению, монтажу, установке внутренних связей, а также все подробности относительно средств соединения, необходимые для сборки комбинированных или составных элементов конструкции.

11.1.20 Контроль качества сборных конструктивных элементов дощатых решетчатых ферм, балок и прогонов, соединенных металлическими зубчатыми пластинами, должен осуществляться в соответствии с требованиями СТ РК EN 14250.

11.1.21 При изготовлении деревянных конструкций с соединениями элементов посредством стыковочных металлических накладок и гвоздей, должны соблюдаться требования EN 14545. Стыковые металлические накладки, прикрепляемые гвоздями, должны изготавливаться из пластины или полосы из мягкой стали, в соответствии с СТ РК EN 10025-2 или EN 10346, или из пластины из аустенитной нержавеющей стали в соответствии с СТ РК EN 10088-2.

Стыковые накладки, прикрепляемые гвоздями, должны быть изготовлены из листовой стали с номинальной толщиной не менее 0,9 мм. Допустимые отклонения толщины пластины должны соответствовать требованиям СТ РК EN 10051 или СТ РК EN 10029 в тех случаях, когда исходный материал соответствует стандарту СТ РК EN 10025-2, или СТ РК EN 10143, когда исходный материал соответствует стандарту EN 10346, или EN ISO 9445 для холоднокатаной нержавеющей стали, в соответствии со стандартом СТ РК EN 10088-2.

11.1.22 Стыковые металлические накладки, прикрепляемые гвоздями, должны быть изготовлены из материала устойчивого к коррозии, или иметь покрытие для защиты от коррозии.

11.1.23 При изготовлении деревянных конструкций с соединениями на круглых пластинчатых, кольцевых и зубчатых шпонках, изготовленных из стали, должны соблюдаться минимальные требования к материалам, установленные в EN 912. Для стальных шпонок, на которые распространяется действие стандарта EN 912, требования по защите от коррозии, должны соответствовать классам эксплуатации, приведенным в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Примеры минимальной защиты от коррозии для различных классов эксплуатации приведены в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

11.1.24 Для соединений элементов деревянных конструкций, в качестве механических связей, могут использоваться гвозди, винты и шурупы. Гвозди, винты и шурупы, используемые в качестве механических связей соединений, должны соответствовать требованиям стандартов по их изготовлению. Механические характеристики гвоздей, винтов и шурупов, должны удовлетворять требованиям СТ РК EN 409, СТ РК EN 1382 и СТ РК EN 1383.

11.1.25 Винты следует применять для крепления деревянных деталей из цельной древесины хвойных пород, клееной древесины, фанеры, клееной доски или бруса, древесно-стружечных и древесноволокнистых плит, OSB, LVL, либо для крепления стальных деталей к деревянным элементам из цельной древесины хвойных пород, клееной слоистой древесины, фанеры, клееной доски и бруса.

11.1.26 Деревянные элементы, к которым выполняется крепление с помощью винтов, должны иметь минимальную толщину $4 \cdot d$. Данные требования не распространяются на случаи крепления к плитам из древесно-стружечных материалов,

включая ориентированно-стружечные, древесноволокнистые плиты и клееную фанеру.

11.1.27 В соединениях, винты используются преимущественно для восприятия статических нагрузок и устанавливаются в элементах деревянных конструкций под углом к волокнам $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$.

11.1.28 В соединениях элементов деревянных конструкций, эксплуатирующихся в зданиях и сооружениях с неагрессивной средой, следует использовать винты с цинковым покрытием.

11.1.29 Для винтов с гладкой частью, диаметр которой $d_s \leq 6$ мм, при их ввинчивании в древесину плотностью $\rho \leq 500$ кг/м³, не требуется предварительно просверливать монтажные отверстия. Для винтов диаметром $d_s > 6$ мм, необходимо просверливать монтажные отверстия, соблюдая следующие требования:

- монтажное отверстие для гладкой части винта должно иметь диаметр $d_o = d_s$, а глубина отверстия должна быть равна длине гладкой части винта;
- монтажное отверстие резьбовой части должно иметь диаметр равный 70% диаметра d_s гладкой части винта;
- для древесины с плотностью $\rho > 500$ кг/м³, диаметр d_o , предварительно просверленных отверстий под винты, должен определяться экспериментально.

11.1.30 Длина анкеровки (глубина ввинчивания) винта s не должна быть меньше $4d$.

Толщина t , соединяемых и прикрепляемых древесных материалов, должна составлять $t \geq 1,2d$ (d - внешний диаметр резьбы винта). Кроме того, толщина клееной слоистой древесины и древесноволокнистых плит, должна быть не менее 6 мм, а толщина древесно-стружечных, ориентировано-стружечных и цементно-стружечных плит - не менее 8 мм.

11.1.31 Для определения параметров деревянных конструкций, в которых применяются винты той или иной марки, следует руководствоваться требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

Для ввинчивания винтов следует использовать только рекомендованный изготовителем инструмент.

11.1.32 В прикрепляемых к деревянным элементам стальных деталях (кронштейны, пластины и т.п.), под винты должны быть предварительно просверлены отверстия соответствующего диаметра. В цементно-стружечных плитах диаметр отверстия должен быть равным $0,7 \cdot d$.

11.1.33 Винты должны быть утоплены в деревянную деталь таким образом, чтобы головка винта была заподлицо с внешней поверхностью прикрепляемой детали. Более глубокое заглубление винта не допускается.

11.1.34 Винты с потайной головкой, диаметром $d = 6$ мм, 8 мм и 10 мм, можно использовать в комплекте с шайбами-розетками. Винты с шестигранной и тарельчатой головкой можно использовать в комплекте с подкладными шайбами. Шайбы-розетки и подкладные шайбы должны соответствовать винтам по своей форме и материалу, и прилегать к древесине по всей поверхности после ввинчивания.

11.1.35 Для винтов с внешним диаметром резьбы $d = 8$ мм, толщина прикрепляемых деревянных элементов, должна составлять не менее 30 мм, а для винтов с внешним диаметром резьбы $d = 10$ мм – не менее 40 мм.

11.1.36 В качестве минимальных расстояний между винтами, должны соблюдаться значения согласно СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. При внешнем диаметре резьбы винта $d \geq 8$ мм, расстояние до нагруженной и ненагруженной кромки по направлению волокон древесины, должно составлять не менее $15 \cdot d$. Если в направлении волокон древесины расстояние между винтами и до торца деревянного элемента составляет не менее $25 \cdot d$, то расстояние до ненагруженной кромки поперек волокон может быть сокращено до $3 \cdot d$.

11.1.37 При использовании в соединениях деревянных конструкций в качестве механических связей болтов и шайб, должны соблюдаться следующие требования:

- диаметр отверстий под болты в деревянных элементах не должен превышать диаметр болтов более чем на 1 мм. Диаметр отверстий под болты в стальных листах не должен превышать диаметр болтов более чем на $0,1d$ или на 2 мм (выбрать наибольшее значение);

- шайбы с длиной стороны или диаметром не менее $3d$ и толщиной не менее $0,3d$ (где d - диаметр болта), могут использоваться под головками болтов и гайками. Шайбы должны иметь ровную опорную поверхность;

- минимальные диаметры болтов, используемых для соединения деревянных элементов, принимаются в соответствии с требованиями, установленными в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

11.1.38 При использовании в качестве механических связей в деревянных конструкциях нагелей, их минимальный диаметр должен быть не менее 6 мм. Допуск в отношении диаметра нагеля составляет $-0/+0,1$ мм. Предварительно просверленные отверстия в деревянных элементах должны иметь диаметр не более самого нагеля.

11.2 Общие требования по сборке, транспортировке, хранению, монтажу деревянных конструкций и контролю их качества

11.2.1 Сборка, транспортировка, хранение и монтаж деревянных конструкций должны осуществляться на основании требований, установленных в СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, стандартов серии EN на конкретные изделия, элементы и конструкции, а также проектной документации.

11.2.2 Сборку деревянных конструкций необходимо осуществлять так, чтобы не возникали непредвиденные расчетом напряжения. Покоробление, расщепление или плохо подогнанные в соединениях элементы, должны быть заменены.

11.2.3 Перед установкой несущих деревянных конструкций в проектное положение производят их сборку, которую осуществляют на заводе-изготовителе или на строительной площадке, где конструкция может быть собрана полностью или частично. При частичной сборке операция окончательной сборки совмещается с монтажом и установкой в проектное положение (например, соединение двух полуарок или полурам на монтаже). Выбор места полной или частичной сборки конструкции определяется, главным образом, возможностью транспортирования конструкции или ее наибольшего элемента.

11.2.4 Сборку конструкции, доставленной к месту строительства в виде отдельных деталей, производят на горизонтальной ровной площадке в последовательности, указанной в рабочих чертежах. Перед сборкой, должны быть выявлены и устранены

дефекты, которые могли возникнуть в элементах при их транспортировании. Собранные конструкции хранят в вертикальном положении, предохраняя их от грунтовой и атмосферной влаги (путем применения подкладок устройства навесов и т. п.).

11.2.5 При транспортировке элементов несущих и ограждающих конструкций из древесины и материалов на ее основе, должны быть приняты меры предохранения их от увлажнения, случайных ударов и других неблагоприятных воздействий. Особенно следует уделять внимание по предотвращению в процессе транспортировки возникновения усилий, которые могут вызвать растяжение древесины поперек волокон. Захват элементов при подъеме можно производить только в местах, помеченных на изделии в соответствии с рабочими чертежами.

11.2.6 При транспортировке и монтаже необходимо избегать перенапряжения деревянных конструкций. Если характер нагружения конструкции при транспортировке или монтаже отличается от предполагаемого характера нагружения в проектном состоянии, то должны быть выполнены поверочные расчеты конструкций на монтажные воздействия, и на нагрузки, возникающие при транспортировке, включая их динамические составляющие, если они имеют место. Искривления при подъеме из горизонтального в вертикальное положение арок, порталных рам и т.п. не допускаются.

11.2.7 Подъем конструкций после сборки и при монтаже должен производиться с помощью траверс, стяжек или специальных приспособлений, обеспечивающих целостность конструкции. Перед подъемом все соединения (болты, винты, стяжки, упоры и т. п.) должны быть плотно подогнаны и затянуты. До начала монтажа должны быть выверены опорные площадки, на которые будет установлена конструкция.

11.2.8 Несущие деревянные конструкции по мере их установки в проектное положение, должны быть сразу же закреплены постоянными связями и ограждающими конструкциями (прогонами, настилами, панелями), приведенными в проекте. Первая конструкция после установки закрепляется временными растяжками или другими приспособлениями.

11.2.9 Такие несущие конструкции покрытия, как арки с затяжкой, фермы и балки, монтируют полностью собранными. При значительных пролетах арок и ферм, их сборку и монтаж допускается выполнять в проектном положении с использованием монтажных башен, если такой метод предусмотрен в проекте. Трехшарнирные рамы и арки незначительными пролетами удобнее монтировать, устанавливая в проектное положение отдельно две половины конструкции (полуарки, полурамы) и соединяя их после установки в ключевом (коньковом) узле. Для временного опирания верхней части полуарки при больших пролетах используют монтажную башню, с которой после выверки положения конструкции производят окончательную сборку ключевого узла. После выверки и закрепления собранной арки, башню перемещают вдоль оси здания на следующую стоянку и производят монтаж очередной арки.

11.2.10 Монтаж конструкций следует осуществлять в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011, других стандартов серии EN и проектной документации (в том числе рабочих чертежей марки КД).

11.2.11 На основании проектной документации, для монтажа конструкций следует разрабатывать проект производства работ (ППР), в состав которого должны входить

технологические карты на монтаж конструкций. В проекте производства работ должен быть сделан выбор рациональных технологических и технических решений монтажа конструкций, включая его последовательность, отражены вопросы по сборке конструкций, способам их установки в проектное положение, обеспечению жесткости и устойчивости конструкций и частей здания или сооружения в процессе монтажа, выбору монтажных кранов, определен перечень оборудования, технологической оснастки, приспособлений и средств малой механизации.

11.2.12 В технологических картах должны быть указаны:

- способы строповки и грузозахватные приспособления, обеспечивающие подачу конструкций при складировании и монтаже;
- порядок сборки конструкций;
- порядок и способы подъема конструкций;
- порядок и способы установки конструкций в проектное положение;
- способы временного и окончательного закрепления конструкций при монтаже.

11.2.13 Конструкции, изделия и материалы, применяемые при монтаже, должны соответствовать требованиям проектной документации, СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и другим стандартам серии EN, иметь документ о качестве, выданный изготовителем, и, в соответствии с действующим законодательством, - сертификат соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Казахстан.

11.2.14 Деревянные конструкции, изделия и материалы следует хранить на строительной площадке рассортированными по типам и маркам, на высоте не менее 100 мм от поверхности земли, с учетом очередности сборки и монтажа, с возможностью свободной строповки и подъема каждого элемента. Маркировочные надписи и знаки должны быть видимы со стороны проходов.

При складировании конструкций, изделий и материалов должно обеспечиваться их устойчивое положение, исключаться их деформации, повреждения, загрязнения и коррозия (загнивание). Для древесины должна быть обеспечена защита от попеременного увлажнения и высушивания, воздействия солнечной радиации, промерзания, вымывания или снижения защитных свойств нанесенных пропиток и покрытий.

Для хранения соединительных изделий, изоляционных, уплотнительных, защитных материалов следует использовать закрытые помещения.

11.2.15 До начала монтажа конструкций, на объекте должны быть выполнены следующие работы:

- устройство фундаментов с обратной засыпкой пазух до проектной отметки и послойным уплотнением грунта;
- представлена исполнительная геодезическая съемка фундаментов, составлены исполнительные схемы нанесения осей здания или сооружения на фундаменты;
- устройство монтажной площадки согласно ППР (с уплотнением грунта и измерительным контролем его плотности).

11.2.16 При монтаже должны быть обеспечены:

- надежность смонтированных зданий и сооружений и их частей;
- прочность, жесткость, устойчивость и неизменяемость положения конструкций и частей здания, сооружения на всех стадиях монтажа (в том числе за счет применения

временных связей и других элементов жесткости, конструкция, количество, порядок установки и снятия которых, должны быть указаны в проекте организации строительства);

- точность положения конструкций;
- прочность и плотность монтажных соединений, сопряжений, стыков, узлов и швов.

11.2.17 При монтаже деревянных конструкций, должны выполняться следующие операции:

- подготовка конструкций к монтажу (осмотр и очистка поверхностей; проверка соответствия марок изделий проектной документации; проверка отсутствия недопустимых деформаций, повреждений и трещин; проверка влажности древесины; проверка состояния узлов и опорных частей; устранение дефектов, возникших при транспортировании и складировании; закрепление металлических соединений и закладных деталей; подтягивание болтов, шпилек, тяжей и т. п.; проверка размеров конструкций; проверка строповочных петель и отверстий, монтажных пазов и гнезд; проверка состояния и устранение дефектов защитных, изоляционных и антикоррозионных пропиток и покрытий; нанесение рисок; оснащение конструкций монтажными и страховочными приспособлениями, расчалками, временными распорками и т. п.);

- проверка состояния и подготовка соединительных и крепежных изделий и элементов жесткости;

- подготовка мест установки конструкций (проверка состояния и очистка опорных поверхностей, закладных деталей, фундаментных болтов, нанесение рисок, проверка состояния и установка приспособлений для временного закрепления конструкций);

- строповка конструкций (элементов), крепление оттяжек;

- подъем конструкции (элементов) монтажным краном и подача к месту установки;

- прием конструкции (элементов) и заведение на опоры, установка (укладка) в проектное положение;

- выверка конструкции (элементов) по осям, отметкам и вертикали и временное ее закрепление;

- постоянное закрепление конструкций (элементов);

- расстроповка конструкций;

- заполнение стыков, швов, узлов и гнезд.

11.2.18 Конструкции следует устанавливать в проектное положение по принятым в проектной документации ориентирам (рискам, болтам, штырям) или специальным закладным деталям, фиксирующим устройствам.

Все конструкции (элементы) до их проектного закрепления должны быть выверены по горизонтали, вертикали, в плоскости и из плоскости монтажных элементов. Выверка и временное закрепление конструкций должны выполняться при помощи фиксирующих соединительных и крепежных изделий, предназначенных для фиксации и удерживания монтируемой конструкции в проектном положении, указанных в ППР. Устанавливаемые конструкции до расстроповки должны быть надежно закреплены.

11.2.19 Монтаж конструкций зданий или сооружений следует начинать с пространственно устойчивой части (связевой ячейки), что должно быть указано в проектной документации, проекте организации строительства и ППР. Монтаж

конструкций каждого вышележащего яруса, следует производить после проектного закрепления всех монтажных элементов нижележащего яруса. Размещение на смонтированных перекрытиях (покрытиях) материалов и оборудования должно определяться ППР с учетом несущей способности конструкций. Раскладка на перекрытиях и покрытиях конструкций не допускается.

11.2.20 При производстве работ в зимний период необходимо тщательно очищать конструкции, элементы, опоры, сопряжения и стыки от снега, инея и наледи.

Особенности выполнения работ в зимний период должны быть указаны в проектной документации и ППР.

11.2.21 В процессе монтажа конструкций должна выполняться исполнительная геодезическая съемка с составлением исполнительных схем, должны составляться акты освидетельствования скрытых работ и акты промежуточной приемки ответственных конструкций.

11.2.22 Конструкции, имеющие повреждения, устранение которых в условиях строительной площадки невозможно, монтировать запрещается. Влажность деревянных конструкций и изделий перед сборкой и монтажом должна соответствовать условиям эксплуатации здания, сооружения и требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

11.2.23 Несущие конструкции должны поставляться на строительную площадку комплектно, вместе с ограждающими конструкциями, кровельными материалами, со всеми деталями, необходимыми для выполнения проектных соединений, и материалами для заделки стыков и швов.

11.2.24 Несущие конструкции зданий следует монтировать в максимально укрупненном виде. Укрупнительную сборку конструкций с затяжкой необходимо производить только в вертикальном положении, без затяжки – в горизонтальном положении.

11.2.25 Смонтированные конструкции должны иметь изоляцию при контакте с грунтом основания, кирпичной кладкой, монолитным бетоном и т. п., предусмотренную проектной документацией.

11.2.26 Допуски и отклонения, характеризующие точность монтажа конструкций, точность геометрических параметров зданий и их элементов назначаются в проектной документации в зависимости от заданного класса точности, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и стандартами серии EN.

11.2.27 При установке деревянных колонн, стоек, стропильных конструкций, балок перекрытий и т. п. и при стыковке их элементов, торцы сопрягаемых конструкций должны плотно примыкать друг к другу. Величина зазора в стыках не должна превышать 1 мм. Сквозные щели не допускаются.

11.2.28 Способы и средства крепления конструкций (хомуты, болты, нагели, гвозди и др.) должны соответствовать требованиям проектной документации и СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Диаметры отверстий для крепления конструкций, должны соответствовать требованиям СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

11.2.29 При монтаже колонн, стоек, рам и арок должны соблюдаться следующие требования:

- монтаж колонн, стоек, рам и арок производится после измерительного контроля

соответствия планового и высотного положения фундаментов и нанесения изоляционных покрытий на опорные части деревянных конструкций, согласно проектной документации;

- проектное положение конструкций следует выверять по продольным и поперечным осям здания или сооружения, а также по нивелировочным отметкам;

- ригели полурам и концы полуарок временно опирают на передвижную монтажную вышку, которая остается под коньковыми узлами до окончания монтажа и проектного закрепления всей рамы или арки;

- связи и прогоны, соединяющие колонны, стойки, рамы и арки, следует монтировать вслед за конструкциями каркаса, если другая очередность не указана в проектной документации и ППР.

11.2.30 При монтаже стропильных ферм и балок должны соблюдаться следующие требования:

- стропильные фермы и балки монтируются только после проектного закрепления и обеспечения пространственной устойчивости колонн или подготовки в соответствии с проектной документацией мест опирания в стенах здания и их приемки. На опорные части ферм и балок должны быть нанесены изоляционные покрытия согласно проектной документации;

- первая смонтированная в пролете стропильная конструкция крепится в коньке расчалками, последующие конструкции крепятся к ранее смонтированным временными распорками. Расчалки и временные распорки снимаются после монтажа проектных элементов жесткости, обеспечивающих пространственную устойчивость стропильных конструкций;

- глубина опирания стропильных конструкций на колонны и другие опоры должна быть указана в проектной документации. Торцы ферм и балок должны отстоять от каменных и бетонных стен не менее чем на 30 мм и отделяться от стен теплоизоляционными вкладышами. Глухая заделка опорных частей стропильных ферм и балок в каменные и бетонные стены не допускается.

- дощатые фермы с соединениями в узлах на металлических зубчатых пластинах должны монтироваться в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и СТ РК EN 14250.

11.2.31 При монтаже плит покрытия должны соблюдаться следующие требования:

- плиты покрытия должны монтироваться в одном потоке со стропильными конструкциями;

- глубина опирания плит на несущие конструкции должна соответствовать требованиям проектной документации и быть не менее 55 мм. Расстроповка плит допускается только после закрепления обоих концов на опорах;

- между уложенными плитами должны выдерживаться зазоры, указанные в проектной документации, заполняемые в процессе монтажа. При монтаже плит покрытия не допускается смятие, загрязнение и увлажнение утеплителя.

11.2.32 Монтаж стеновых панелей, перегородок и диафрагм, должен выполняться в соответствии с требованиями проектной документации и СН РК EN 1995-1-1:2008/2011.

11.2.33 При монтаже междуэтажных и чердачных перекрытий должны соблюдаться следующие требования:

- перед монтажом балок и брусьев перекрытий необходимо выполнить разбивку осей на опорах и обеспечить проектное положение опор в стенах здания;

- балки и брусья укладываются по стенам с опиранием концов согласно требованиям проектной документации, но не менее 200 мм и с анкеровкой. Торцы элементов должны отстоять от стен не менее чем на 30 мм и отделяться от стен теплоизоляционными вкладышами. Глухая заделка концов балок и брусьев не допускается. Концы балок и брусьев, опирающиеся на каменные стены, должны быть обработаны антисептирующим составом на длину не менее 750 мм со всех сторон и обернуты изоляционным материалом на негниющей основе;

- настил по балкам и брусьям укладывается после их выверки и закрепления.

11.2.34 Монтаж зданий с каркасными стенами выполняется в следующей последовательности:

- устройство цокольного перекрытия по гидроизоляции с элементами обвязки под каркасные стены; углы обвязки должны быть перпендикулярными;

- монтаж каркасов продольных стен;

- устройство обвязки средних стен;

- монтаж каркасов торцевых стен;

- крепление стен к цокольной обвязке и между собой;

- устройство верхней обвязки;

- сборка междуэтажных и чердачного перекрытий;

- обшивка каркасов досками и закладка утеплителя в стены;

- устройство крыши.

11.2.35 При монтаже стропил должны соблюдаться следующие требования:

- первоначально укладываются по продольным стенам мауэрлаты. При укладке по каменным стенам мауэрлаты должны быть антисептированы и изолированы от стен рулонными материалами на негниющей основе. Мауэрлаты укладывают по уровню и выверяют по горизонтали;

- нижние продольные прогоны, при контакте с каменными стенами, также должны быть обработаны и изолированы аналогично мауэрлатам;

- при монтаже центральных стоек, для создания жесткости, их временно соединяют связями из досок;

- по прогонам монтируются стропильные ноги с врезкой торцевым упором в мауэрлат;

- по стропилам укладывается обрешетка с шагом, соответствующим требованиям проектной документации или шагу крепления материалов кровли;

- первыми монтируются стропила по торцам здания, по конькам которых выверяют остальные стропила;

- способы соединения элементов стропил должны соответствовать проектной документации. При соединении на скобах они должны забиваться в древесину, в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011. Проволочные скрутки в креплениях стропил к стенам должны охватывать стропильные ноги под прямым углом и должны быть туго натянуты;

- поверхности стропильных ног, являющиеся основаниями под обрешетку, должны

НТП РК 05-01-1.1-2011

быть ровными, без выступов. Стыковку брусков обрешетки следует выполнять вплотную и на стропильных ногах, если другие условия не оговорены в проектной документации.

11.2.36 Контроль качества должен включать в себя следующее:

- контроль производства и квалификации на строительной площадке и вне ее;
- контроль после завершения монтажа.

11.2.37 Контроль качества монтажа выполняется в соответствии с требованиями СН РК EN 1995-1-1:2008/2011 и проектной документацией.

УДК 624.011

МКС 91.080.20

Ключевые слова: деревянные конструкции, огнестойкость, конструктивные схемы, методы расчета, классы последствий, класс надежности, срок эксплуатации, предельные состояния, характеристики материала, характеристические значения свойств древесины, температурно-влажностные условия конструкции, пожар, огнестойкость, предельные состояния по огнестойкости, воздействия, теплотехнический расчет, температурный режим, пожарная нагрузка, глубина обугливания, скорость обугливания

НТП РК 05-01-1.1-2011

Ресми басылым

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЭКОНОМИКА МИНИСТРЛІГІНІҢ
ҚҰРЫЛЫС, ТҮРҒЫН ҮЙ-КОММУНАЛДЫҚ ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ ЖӘНЕ
ЖЕР РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУ КОМИТЕТІ**

**Қазақстан Республикасының
НОРМАТИВТІК–ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ**

ҚР НТҚ 05-01-1.1-2011

**АҒАШ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ. 1-БӨЛІМ. АҒАШ
КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ҚҰРАСТЫРУ**

Басылымға жауаптылар: «ҚазҚСҒЗИ» АҚ

050046, Алматы қаласы, Солодовников көшесі, 21
Тел./факс: +7 (727) 392-76-16 – қабылдау бөлмесі

Издание официальное

**КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА, ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ МИНИСТЕРСТВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

**НОРМАТИВНО–ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
Республики Казахстан**

НТП РК 05-01-1.1-2011

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ЧАСТЬ 1.
КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Ответственные за выпуск: АО «КазНИИСА»

050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21
Тел./факс: +7 (727) 392-76-16 – приемная